

明 細 書

光周波数符号を用いる光通信システム、その光送信装置及び光受信装置、反射型光通信装置

技術分野

[0001] この発明の複数のデータ系列を異なる光符号により分離できるように多重化する光符号多重(OCDM, Optical Code Division Multiplex)や、4相位相変調(QPSK, QUADRATURE Phase Shift Keying)あるいは直交振幅変調(QAM, Quadrature Amplitude Modulation)技術を光通信に適用した光通信システムとそのシステムに使用される光送信装置及び光受信装置、反射型光通信装置に関する。

背景技術

[0002] 複数の収容局を光ファイバを介して中央局に収容する1対多接続網PON(Passive Optical Network)において、各収容局に互いに直交関係にある擬似ランダム拡散符号を割当て、各収容局では割当てられた拡散符号に応じ光信号を変調して送信し、これら光変調信号を中央局で多重化して更に遠方に送信することが提案されている。その各拡散符号により光周波数領域の光周波数符号化する従来技術を以下に説明する。

図1にその光符号多重光通信システムにおける1チャネルについて構成と光周波数符号化(波長符号化)を模式的に示す。送信側では光源10からの波長が広帯域な光信号20が符号器11に入射され、その入射光信号は符号器11の選択波長31の波長成分のみが通過波長光21として切り出されて波長符号化される。この符号化された通過波長光21は光ファイバ13を通じて受信側の復号器12へ伝送される。通過波長光21は復号器12で対応する符号器11からの符号のみが復号器の選択波長32により通過波長光22として通過して復号される。

[0003] 一方図1(c)に示すように、復号器12の復号符号と対応しない拡散符号の符号器からの通過波長光は、例えばその選択波長31'により通過波長光21'となり、この通過波長光は復号器12の選択波長32によっては符号中の全てのチップ(光周波数又は波長)は通過せず、通過するものがあったとしても一部のみであって、適正な光信号と

して復号されず雑音光22' となる。ここで符号器11及び復号器12は、例えば非特許文献1に示されている。

これらの従来の符号器及び復号器では、それらに用いる波長は特定の波長であり、符号器11への入力光信号20の波長及び符号器11の選択波長31はそれぞれ所定の絶対波長からの変動はほとんど許容されない。このため、受信側から送信側に対して送出光信号の波長及び符号器11の選択波長31を通知し、送信側はこの通知に従って光源10の出射光20、符号器11の選択波長31の校正をしなければならない問題があった。

- [0004] この問題を解決するために例えば非特許文献2や特許文献1(1999年2月2日発行)に示される方法が提案されている。この提案されている方法では、波長幅が数十nmのLED(発光ダイオード)等の広帯域光源の出射光を、選択波長の温度依存性が少ない素材で構成したマッハツエンダろ波器又はファブリーペロろ波器を用いてサイン関数で波長を選択して波長符号化する、つまり各データ系列ごとに異なる周期で波長を割り当てる。

従来の光通信方法において、2値データ系列を、その各データごとにスペースであるかマークであるかにより光信号を断続させる強度変調により送信している。

- [0005] また無線通信方法で行われている4相位相変調技術を光通信において行うことが提案されている。これは1波長の光信号に対し、その光位相を2つのデータに応じて、予め決めた4つの位相の1つに制御するものである。

複数のデータ系列を多重化して光伝送するために、「光周波数多重(光FDM、またはOptical FDM:Optical frequency division multiplex)または波長多重(WDM:wavelength division multiplex)」する光通信方法がある。この光波長多重通信方法を適用したWDM-PONにおいては、正しく多重分離できるように、各収容局より送信する光信号の波長をそれぞれ調整する必要がある。このような波長調整を省略するため、各収容局では中央局から受信した光をデータに応じて変調して中央局へ送り返す光通信システムが提案されている(例えば非特許文献3及び非特許文献4参照)。

特許文献1: 日本国特許公開平11-32029号公報

非特許文献1:大柴小枝子他著2002年電子情報通信学会総合大会B-10-80「データレート拡張型時間拡散／波長ホップ光符号分割多重の実験検討」

非特許文献2:T.Pfeiffer他著, Electronics Letters vol.33 No.25 pp 2441-2442,1997, "High Speed optical network for asynchronous multiuser access applying periodic spectral coding of broadband sources"

非特許文献3:今井健之他著「反射型SOAによるWDN-PONシステム用端末のインターオペラビリティ」2003年電子情報通信学会通信ソサエティ大会B-10-50

非特許文献4:成川聖他著「半導体光増幅器を用いた波長チャネルデータリライタのファイバ伝送特性」2003年電子情報通信学会通信ソサエティ大会B-10-51

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] 文献2や文献3に示す従来の技術は各データ系列に符号に相当する異なる周期で切り出した波長を割り当てるOCDM(Optical code division multiplex)であるが、各データ系列(チャネル)と対応する光符号には互いに直交性がないために、少ない周期を含む狭い光周波数幅での割当では互いに干渉を受けS/N(信号／雑音)が悪くなる。そこで例えば第1データ系列に割当てる光の周波数差を λ_1 、基準となる光周波数波長を λ_0 とすると、光周波数 $\lambda_0 - \lambda_0 + \lambda_1$ の1周期だけでなく、多数の周期を含む $\lambda_0 - \lambda_0 + 2\lambda_1$ 、 $\lambda_0 - \lambda_0 + 3\lambda_1$ 、…と複数の周期を含む広い光周波数幅で割当て、第2データ系列に光周波数 $\lambda_0 - \lambda_0 + \lambda_2$ の1周期だけではなく、多数の周期を含む $\lambda_0 - \lambda_0 + 2\lambda_2$ 、 $\lambda_0 - \lambda_0 + 3\lambda_2$ 、…と複数の周期を含む広い光周波数幅で割当て、第3データ系列に光周波数 $\lambda_0 - \lambda_0 + \lambda_3$ の1周期だけではなく、多数の周期を含む $\lambda_0 - \lambda_0 + 2\lambda_3$ 、 $\lambda_0 - \lambda_0 + 3\lambda_3$ 、…と複数の周期を含む広い光周波数幅で割当て、以下同様に割当てる。このようにしてS/Nを向上させている。

[0007] このため、サイン関数の周期で切り出される波長数が少ない場合はチャネル光信号間干渉が無視できず、誤り率を劣化させることなく多くのデータ系列対応のチャネル光信号を多重することは困難である。従って、チャネル光信号間干渉を抑止するためには、波長幅を無限大として近似するに十分な数の波長で多重するために、光源

の出射光の周波数を広帯域とする必要がある。広帯域光源を用いるために、伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題が発生し、高速伝送ができない問題がある。また広い周波数幅の光を必要とするため、波長分散の影響で、送受信間の距離が長い場合は信号対雑音比が劣化する問題があった。更に、周期のみでチャンネルを分離しているため、光源の出射光の周波数幅と、ろ波器で選択できる光周波数に限りがあり、最大のチャンネル数が増やせない問題があった。

[0008] また従来の無線通信方法で実用化されている4相位相変調技術を光通信に適用し光周波数信号の光位相を変調信号(データ)に応じて制御しようとすると、 μ メートルオーダーの光波長と比べて十分正確なオーダーである数十分の1の数ナノメートルオーダーの精度で光の位相を制御することを実用化することは現在の所困難である。

また非特許文献3に示す光波長多重PONでは収容局で中央局へデータを送信するために用いる光信号を、無変調の連続光として中央局から収容局へ送信している。従ってこの無変調連続光は中央局から収容局への伝送においては情報伝送に活用されていなく、それだけ情報伝送効率が悪いものとなる。非特許文献4に示す装置では、無変調連続光を中央局から送信しない点で情報伝送効率は非特許文献3に示す装置よりよいが、中央局で送信する下り光信号の消光比を悪くし、この消光比が悪い下り光信号を収容局で上り光信号として情報伝送に利用可能としている。このため、下り光信号の消光比が悪く、通信品質が劣化する。

課題を解決するための手段

[0009] この発明は第1面～第3面があるが、いずれも i 番目符号の関数 $C_i(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_i(f))$ を用い、これらは以下の条件を満たす。

関数 $C_i(f)$ は $C_i(f) = C_i(f + FSR_i)$ が成立する周期関数であり、関数 $C_i(f)$ の関数値が0から1の値をとり、

光周波数幅FSRは所定の光周波数 F_{st} から所定の光周波数 F_{la} までの範囲において、各符号の関数の繰り返し周期の公倍数の光周波数幅であり、

関数 $C_i(f)$ の反転関数は、1からこの関数 $C_i(f)$ を減じた関数 $(1-C_i(f))$ であり、

関数 $C_i(f)$ と関数 $(1-C_i(f))$ との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1-C_i(f)) df$ の関係が成立し、

$\int df$ は F_{st} から F_{la} までの任意の区間FSRにおける f に関する定積分であり、関数 $C_i(f)$ と i 番目符号以外の任意の j 番目符号の関数 $C_j(f)$ 及びこの関数 $C_j(f)$ の反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1-C_j(f)) df \text{ の関係が成立する。}$$

[0010] この発明の第1面によれば光符号通信に適用され、送信側では2値データ系列の各データごとに、その値に応じた i 番目符号の関数 $C_i(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_i(f))$ の少なくとも一方を、光強度周波数特性とした光符号信号を、少なくとも関数同士が直交する周期FSR分生成送信し、

受信側では受信した光信号から、関数 $C_i(f)$ に基づき光強度周波数特性が $C_i(f)$ の光信号の光強度と対応する第1強度信号と、

受信光信号から、反転関数 $(1-C_i(f))$ に基づき、光強度周波数特性が $(1-C_i(f))$ の光信号の光強度と対応する第2強度信号との差と対応した第1差信号からデータ系列を再生する。

[0011] この発明の第2面によれば擬似的に例えば直交位相変調を行うもので、

光周波数幅FSR以下の任意の光周波数幅を、関数 $C_i(f)$ の繰り返し周期FSR i で除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f/\text{FSR}_i)$ を関数 $C_i(f)$ に対する位相差とし、

上記剰余 Δf だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での i 番目符号の関数 $C_i(f + \Delta f)$ と等しい関数を $C_i'(f) = C_i(f + \Delta f)$ とし、

関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1-C_j'(f)) df \text{ の関係が成立し、}$$

送信側では2値データ系列を複数の分離データ系列に分離し、その分離データ系列ごとの、互いに異なる符号の関数についてデータごとにその値に応じたその関数及びその反転関数の少なくとも一方を光強度周波数特性とした光信号とし、これら光信号を合成して光符号信号として送信し、

受信側では上記各分離データ系列と対応する関数及びその反転関数に基づき、これら各関数をそれぞれ光強度周波数特性とする光信号の光強度差をそれぞれ求め、それぞれ分離データ系列を再生する。

[0012] この発明の第3面によれば反射型光通信に適用され、少なくとも光周波数幅FSR

の光周波数帯で光強度周波数特性が関数 $C_i(f)$ 又は反転関数 $(1-C_j(f))$ の受信光信号が入力され、その受信信号はろ波光周波数特性が関数 $C_i(f)$ の符号器に入力されて光信号が出力され、ろ波光周波数特性が反転関数 $(1-C_i(f))$ の反転符号器にも受信光信号が入力されて反転光信号が出力され、

入力2値データ系列の各データごとにその値に応じて光信号と反転光信号を選択合波して光符号信号として送信される。

発明の効果

[0013] この発明の第1面の構成によれば関数 $C_i(f)$ が連続して繰り返され、 $F_{st}-F_{la}$ 内の周波数範囲であれば任意の位置での光周波数幅FSR分の光符号信号を送信すればよく、従って光送信装置の光源や符号器、光受信装置の復号器などの光周波数がドリフトしても受信側から送信光周波数を通知し、送信側で光周波数を調整する必要がない。しかも複数のデータ系列に対し、光符号信号の光強度周波数特性 $C_i(f)$ を互いに直交させたものを用いることにより多くの光符号信号を光符号多重化することができ、その場合、いずれの光符号信号の光周波数幅はFSRと同一値であればよく、光周波数幅を特に広くする必要はない。

[0014] この発明の第2面の構成によれば分離データ系列のデータごとに光強度周波数特性の関数を制御するものであるから、光周波数信号の光位相を変調する場合と比較して、変調する制御精度は著しく粗いものでよく、容易に実現することができる。

この発明の第3面の構成によれば上り光信号として送り返すための無変調下り光信号を送る必要がなく、しかも下り光信号と上り光信号の両光強度周波数特性関数が互いに直交化しているため下りデータがマークの場合もスペースの場合も、同一の光強度のマークあるいはスペースの上り光信号を出力することができ、下り光信号の消光比を悪くすることなく、通信品質を劣化するおそれがない。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図1(a)は従来の光符号多重化方法のシステム構成を、図1(b)及び図1(c)はそれぞれ光源光波長、符号量の選択光波長、その透過光、復号器の選択光波長、その透過光の例を示す図である。

[図2]この発明の第1実施形態が適用される多重通信システム構成例を示し、図2(a)

はその光送信装置、図2(b)は光受信装置をそれぞれ示す図である。

[図3]この発明の第1実施形態が適用される他の多重通信システム構成例を示し、図3(a)は光送信装置、図3(b)は光受信装置をそれぞれ示す図である。

[図4]この発明の第1実施形態が適用される通信システム構成例を示す図。

[図5]図5(a)は光源周波数のドリフトを、図5(b)は符号化光周波数領域を、図5(c)は復号化光周波数領域の例を示す図である。

[図6]図6(a)、図6(b)、図6(c)はそれぞれ実施例1における拡散符号の例を示す図である。

[図7]実施例2の符号器の構成例を示す図。

[図8]実施例2の復号器の構成例を示す図。

[図9]実施例2の符号器／復号器のろ波器の構成例を示す図。

[図10]図10(a)は1次のアダマール行列を示す図、図10(b)は2次のアダマール行列を示す図、図10(c)はアダマール行列の漸化式を示す図である。

[図11]図11(a)及び図11(b)は実施例3に用いる2次のアダマール行列に対応する符号化符号(連結符号)の例を示す図である。

[図12]実施例3の復号器の構成例を示す図。

[図13]実施例3において図13(a)は光源周波数ドリフトが生じない場合、図13(b)及び図13(c)はそれぞれ光源周波数ドリフトが生じた場合の光源光周波数、符号化光周波数領域、符号化光信号、復号化光周波数領域、復号ろ波光信号の例をそれぞれ示す図である。

[図14]実施例2の符号器／復号器のろ波器の構成例を示す図。

[図15]実施例3の復号器の他の構成例を示す図。

[図16]実施例3の符号器／復号器のろ波器の他の構成例を示す図。

[図17]実施例3の符号器／復号器のろ波器の更に他の構成例を示す図。

[図18]実施例3の符号器／復号器のろ波器に用いる可変遅延線の例を示す図。

[図19]実施例3の符号器／復号器のろ波器に用いる可変遅延線の他の例を示す図。

。

[図20]実施例3における図20(a)は符号化光周波数領域のドリフト無しの場合、図2

0(b)及び(c)はドリフト有りの場合の各光源光周波数、符号化光周波数領域、符号化光信号、復号化光周波数領域、復号化信号の関係例を示す図である。

[図21]実施例3の符号器／復号器のろ波器の更に他の構成例を示す図。

[図22]実施例3の符号器の他の構成例を示す図。

[図23]実施例3の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図24]実施例3の符号器の更に他の構成例を示す図。

[図25]実施例3の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図26]実施例3の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図27]実施例3の復号器の更に他の構成例を示す図。

[図28]実施例2の符号器及び復号器の組み合わせ構成例を示す図。

[図29]第1実施形態を適用することができる通信システム構成例を示す図。

[図30]この発明の第2実施形態における実施例2-1を適用した通信システムの構成例を示す図。

[図31]2個のデータと対応する位相と、三角関数の擬似搬送波との関係例を示し、図31(a)は位相0、図31(b)は位相 $\pi/2$ 、図31(c)は位相 π 、図31(d)は位相 $3\pi/2$ の場合の図である。

[図32-1]実施例2-1における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との0相変調出力の場合の関係例を示す図。

[図32-2]図32-1の $\pi/2$ 相変調出力の場合の例を示す図。

[図32-3]図32-1の π 相変調出力の場合の例を示す図。

[図32-4]図32-1の $3\pi/2$ 相変調出力の場合の例を示す図。

[図33]図30中の位相変調部130の構成例を示す図。

[図34]実施例2-2における光送信装置の構成例を示す図。

[図35]図35(a)は実施例2-3における光送信装置の構成例を示す図、図35(b)は図35(a)中の変調器132の変形例を示す図である。

[図36]図36(a)はQPSKにおける座標上の信号点を示す図、図36(b)はデータ組と座標点と選択ろ波位相との関係を示す図である。

[図37-1]実施例2-4を適用した通信システムにおける光送信装置の構成例を示す

図。

[図37-2]実施例2-4の光受信装置の構成例を示す図。

[図38]図38(a)はQAMにおける座標上の信号点を示す図、図38(b)はデータ組と、選択位相及び強度と、比較器241及び242の各出力との関係を示す図。

[図39]実施例2-4における光送信装置の他の構成例を示す図。

[図40]実施例2-5を適用した通信システムの構成例を示す図。

[図41]図41は実施例2-5におけるろ波特性の例を示し、図41(a)、図41(b)、図41(c)、図41(d)はそれぞれ位相0、位相 $\pi/2$ 、位相 π 、位相 $3\pi/2$ の各場合の図である。

[図42-1]実施例2-5における光源出力と、変調出力と、ろ波特性と、受信側のろ波出力と、検出強度との0相変調出力の場合の関係例を示す図。

[図42-2]図42-1の $\pi/2$ 相変調出力の場合の例を示す図。

[図42-3]図42-1の π 相変調出力の場合の例を示す図。

[図42-4]図42-1の $3\pi/2$ 相変調出力の場合の例を示す図。

[図43]図43(a)に実施例2-5におけるチップ数 $L=24$ 、 $P=4$ 、 $n=1$ 、 $S=6$ の場合の光周波数特性関数の例を示す図、図43(b)は図43(a)の例に対し $S=3$ とした場合の例を示す図である。

[図44]実施例2-5におけるチップ数 L と、位相シフト量 P と、約数 S と、 Q と n との関係例を示し、図44(a)は $P=0$ 、図44(b)は $P=1$ 、図44(c)は $P=2$ の各々の図である。

[図45]実施例2-8の光送信装置の構成例を示す図。

[図46]図45中の各 S チップ光源の光チップの例を示す図。

[図47]実施例2-9を適用した通信システムの構成例を示す図。

[図48-1]実施例2-11を適用した通信システムにおける光送信装置の構成例を示す図。

[図48-2]実施例2-11の光受信装置の構成例を示す図。

[図49]この発明の第3実施形態における反射型光通信装置の実施例を示す機能構成図。

[図50]図50(a)及び図50(b)はこの第3実施形態における光周波数特性をチップ関数とした例を示す図。

[図51]図49中の符号器440M及び440Sとしてチップ関数をもつ構成例を示す図。

[図52]この第3実施形態の装置の他の実施例を示す機能構成図。

[図53]この発明装置で送信回路及び受信回路を並設した例を示す機能構成図。

[図54]第3実施形態においてチップ関数の例を示す図。

[図55]第3実施形態の反射型光通信装置と対向する光通信装置の例を示す機能構成図。

[図56]第3実施形態で三角関数ろ波特性をもつ送信回路と受信回路を並設した例を示す機能構成図。

[図57]図53中の光合成器の他の例を示す機能構成図。

[図58]第3実施形態で送信回路と受信回路を並設する他の例を示す機能構成図。

[図59]実施例3-5における送信回路の後に受信回路を縦続した例を示す機能構成図。

[図60]実施例3-4における送信回路の後に受信回路を縦続した他の例を示す機能構成図。

[図61]実施例3-5における受信回路の後に送信回路を縦続した例を示す機能構成図。

[図62]実施例3-5における受信回路の後に送信回路を縦続した他の例を示す機能構成図。

発明を実施するための最良の形態

[0016] 以下この発明の実施形態を図面を参照して説明するが、以下の説明において対応する部分には図面に同一参照番号を付けて重複説明は省略する。

第1実施形態(光符号多重)

この発明の第1実施形態は光符号多重化を可能としたものであるが、光多重化しない、つまり1つのデータ系列の光通信にも適用できるが、この項の表題は他の実施形態と区別し易いように括弧書きで(光符号多重)を付け加えた。

まずこの発明を適用できる送信側装置及び受信側装置の例を説明する。図2(a)に

この第1実施形態が適用される光送信側装置の例を示す。 $n=1, 2, \dots, N$ (N は2以上の整数)とし、光源 10_n と符号器 11_n の組は光ファイバ 14_n を通じて合波器 15 に接続される。各符号器 11_n にはデータ系列 D_n が入力され、データ系列 D_n が符号器 11_n で光符号信号に符号化され、光ファイバ 14_n を通じて合波器 15 へ入力され、他の光符号信号と合成され、合波器 15 から光符号多重化信号が出力される。図2(a)に示す例では合波器 15 と各符号器 $11_1, \dots, 11_N$ とが離れ、かつこれら合波器と符号器との間の距離が互いに異っていてもよい場合である。

[0017] 図3(a)に示すように符号器 $11_1, \dots, 11_N$ と合波器 15 は同一個所に設けられ、符号器 $11_1, \dots, 11_N$ に対し、光源 10 が共通に設けられていてもよい。図2(a)に示す構成のものと、図3(a)に示す構成のものとが組み合わされたものでもよい。

光受信側装置は図2(b)に示すように、分配器 16 に入力された光符号多重化信号は N 個の光信号に分配され、それぞれ光ファイバ $18_1, \dots, 18_N$ を通じて復号器 $12_1, \dots, 12_N$ に入力され、各データ系列 D_1, \dots, D_N が分離復号される。分配器 16 と復号器 $12_1, \dots, 12_N$ とが離れ、その距離は互いに異なってもよい。図3(b)に示すように分配器 16 と復号器 $12_1, \dots, 12_N$ が同一個所に設けられていてもよく、図2(b)に示す構成のものと、図3(b)に示す構成のものとが組み合わされたものでもよい。

[実施例1-1]

第1実施形態の実施例1-1を適用できる1系統の通信システムを図4に示す。この実施例1-1は、従来の光通信システムと同様に光源 10 、符号器 11 、復号器 12 、光伝送路(光ファイバ) 13 を具備し、更に、光伝送路の周波数分散により周波数に依存する伝播遅延時間に違いが存在するので、光符号信号を構成する各周波数成分の送受信間での遅延時間が同一となるように平準化して補償する分散補償器 17 をこの実施例1-1では具備している。この分散補償器 17 の補償対象とする光周波数帯域は少なくとも光符号信号として用いられる光周波数帯域よりも広い。

[0018] 光源 10 は、符号器 11 の符号化対象光周波数領域(光周波数 $F_{st} \sim F_{la}$)で少なくとも符号長 FCL (後で述べる FSR_i と対応)に相当する光周波数幅の光信号を出力する。

光源 10 からの光信号 20 は、符号器 11 により光周波数領域で光符号信号に符号化

される。この実施例1-1で用いられる符号器11は、従来の光通信システムにおける符号器と異なり、光通信システムにおいて用いる全ての符号化符号(符号語)の符号長FCLが等しい光符号信号を、光周波数領域で生成する。前記光周波数領域での光符号信号は次の性質をもつものである。第n光符号信号の強度は光周波数fの関数(符号化符号ともいう)C_n(f)であって、この関数値C_n(f)は0から1の値であり、符号器11の符号化対象光周波数領域F_{st}〜F_{la}における任意の符号長FCLの区間での関数値C_n(f)の積分値は、FCLを2で除した値であり、符号器11_nにおける光透過率の光周波数特性はその符号化対象周波数領域F_{st}〜F_{la}において、同一の関数C_n(f)が符号長FCLの周期で繰り返す。また、次式が成り立つ。

$$[0019] \quad C_n(f) = C_n(f + FCL) \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\int C_n(f) = FCL / 2 \quad (2)$$

なお以下では光強度の光周波数特性関数がC_n(f)の光符号信号もC_n(f)と表記する、つまりC_n(f)は第n符号化符号又は第n光符号信号を表わす。また用語「第n(光符号信号)」は他の実施形態における用語「n番目(光符号信号)」と対応し、更に表記「(関数又は符号化符号)C_n(f)」は他の実施形態における「(光周波数特性関数又は符号)C_n(f)」と対応する。

[0020] 符号器11で生成された光符号信号を復号する復号器12は、この実施例1-1では、第n光符号信号C_n(f)に対し、復号器12_nは1周期が符号長FCLと等しい関数(復号化符号ともいう)D_n(f)を、その復号化対象光周波数領域で連続して繰り返すものであり、D_n(f)は次式で表される。

$$D_n(f) = C_n(f) - C_n'(f) \quad (3)$$

ここで、C_n'(f)は、第n符号化符号C_n(f)の光強度の大小を反転したものであり、その関数値C_n'(f)は関数値C_n(f)の反転値であり、次式の関係が成り立つ。

$$[0021] \quad C_n(f) + C_n'(f) = 1 \quad (4)$$

第n光符号信号の光周波数fでの値C_n(f)と、第n光符号信号を復号する復号器の復号化符号D_n(f)との内積を、符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれる符号長FCL分の連続する光周波数領域にわたり光周波数fに関し積分した値が、零でない有限値FCL/4であり、次式の関係が成り立つ。

$$\int C_n(f) \cdot D_n(f) df = FCL/4 \quad (5)$$

なお、式(5)の積分は光源の光周波数幅FSRで行うが、この実施例ではFSRが符号長FCLの丁度自然数倍である。

- [0022] 第 n 光符号信号 $C_n(f)$ と、第 n 光符号信号 $C_n(f)$ 以外の第 m 光符号信号 $C_m(f)$ ($m=1, \dots, N$ かつ $m \neq n$ を除く)を復号する復号器 12_n の復号化符号 $D_m(f)$ との内積を、符号器の符号化光周波数領域とその復号器の復号化光周波数領域に含まれる符号長FCL分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零であり、次式の関係が成り立つ。

$$\int C_n(f) \cdot D_m(f) df = 0 \quad m \neq n, m=1, \dots, N \quad (6)$$

図2及び図3に示したように多重化するデータ系列は複数個 N であり、これら第1, ..., 第 N データ系列に第1, ..., 第 N 符号化符号が割り当てられ、第1, ..., 第 N 符号化符号の符号長FCLは互いに等しい値とする。符号器 11_n の符号化対象光周波数領域を光符号信号の符号長FCLより大とし、通常は符号器 11_n で第 n データ系列のデータに応じて、光源から入力された少くとも符号長FCLの光周波数幅の光信号を、光周波数領域で符号化した光符号信号 $C_n(f)$ を生成出力する。この出力される光符号信号 $C_n(f)$ の長さは1データについて1符号長FCLとされる。例えばデータが“1”(マーク)の時に光符号信号 $C_n(f)$ が1符号長分出力され、データが“0”(スペース)の時は光符号信号 $C_n(f)$ は出力されない。なおマーク、スペースは2種類の変調単位信号の一方と他方に対応する。

- [0023] N 個のデータ系列が光符号信号が多重化された光信号から第 n データ系列を復号する復号器 12_n では式(3)、式(5)から理解されるように入力された光符号多重化信号と第 n 符号信号 $C_n(f)$ 及びその反転光符号信号 $C_n'(f)$ との各内積の積分をそれぞれとり、これら積分値の差をとり、その差が所定値以上であれば復号データとして“1”を出力し、所定値以上でなければ復号データとして“0”を出力する。

このようにこの実施例1-1では、データ系列ごとに異なる波長周期を用いた従来例と異なり、全光符号信号が互いに直交する光周波数幅である符号長FCLが同一で、符号器 11_n の透過率の光周波数特性はその符号化対象光周波数領域FSR内で $C_n(f)$ が連続して繰り返され、復号器 12_n の透過率の光周波数特性もその復号化対象

光周波数領域 $F_{st} \sim F_{la}$ 内で $D_n(f)$ が連続して繰り返されるものであるため、各光符号信号は式(1)と式(2)で示される性質が保たれ、その積分区間を変更しても、各光符号信号の復号器での内積の積分値は変化しない。従って、この実施例1-1では、符号で符号化される光源の光周波数幅が一定であり、その光周波数が符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれるならば、光源の光周波数変化によって、対応する符号器による光符号信号は復号器で同一の入力強度の光符号信号として受信し、この復号器と対応しない他の光符号信号による干渉は増加しない。例えば図5(a)に示すように光源10よりの出力光信号の光周波数は $f_{L1} \sim f_{L2} = FSR$ であり、この光周波数幅はほぼ符号が繰り返す光周波数幅 FCL の自然数倍であり、(この実施例は自然数として1を選択した例である。)この光周波数幅 $f_{L1} \sim f_{L2}$ は図5(b), (c)にそれぞれ示す符号器11_nの符号化光周波数領域、復号器12_nの復号化光周波数領域にそれぞれ含まれている。従って光源10の出力光の光周波数がドリフトにより、例えば破線で示すようにずれても、これが符号化光周波数領域及び復号化光周波数領域内であれば、この光周波数がドリフトした光符号信号に対する復号化は、入力光符号多重化信号と復号化符号 $D_n(f)$ との内積を、光源の光周波数幅に相当する FSR (この例では符号長 FCL に等しい) で積分して行われ、かつ式(1)及び(2)の関係があるから、ドリフト前と同一復号結果が得られ、また干渉の増加もない。同様に符号化光周波数領域及び復号化光周波数領域がドリフトによりずれても、良好な復号が行われる。この合波器15(図2、図3参照)により生成された光符号多重化信号を伝送する光ファイバの光伝送帯域は光源の光周波数幅 FSR より、光源の光周波数変動を十分カバーする程度大であればよい。前記符号化光周波数領域及び前記復号化光周波数領域も前記光伝送帯域と同一とすればよい。つまりこの第1実施形態では符号同士が直交しているので、光源の光周波数幅 FSR は全符号の符号長 FCL と同一でよく、その場合光ファイバで伝送に要する光周波数幅は、符号長 FCL に光源の光周波数変動分を加えた光周波数幅でよい。

[0024] このため、文献2に示す従来技術では拡散符号同士の符号長が異なる周期符号を用いたものであり、符号間干渉を打ち消す必要上、サイン関数光を充分多数周期分取り出すための広帯域な光源を必要としたが、この実施例1-1ではそのように光帯域

の光源は不要となり、光源10出射光は、同一の符号長FCLと対応した光周波数幅(周期幅)だけあればよく、伝送周波数(波長)帯域幅がそれだけ狭くて済み、光伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題を抑止することができる。

更に、分散補償器17を設けることにより伝送距離の違いによる符号間の直交性の崩れも軽減することができる。

- [0025] 以上示したように、この実施例1-1では、符号器の符号化対象の光周波数領域が光符号信号の符号長FCLより大きな光周波数幅であり、式(1)から式(6)で示す特性を有する光符号信号を用い、且つ分散補償器17を、例えば図2(b)中に破線で示すように復号器の直前、あるいは図2(b)中に破線で示すように符号器の直後に具備することで、符号器と復号器間の距離によらず、光源の出力信号光周波数が符号器で符号化対象とする光周波数範囲で変化した場合に、光源の出力光信号の光周波数幅が変化しなければ、対応する符号器の出力光符号信号は復号器で同一の入力強度の光符号信号として受信し、この復号器と対応しない他の光符号信号による干渉は増加しないため、光源の出力信号光周波数は所定の絶対周波数からの変動を許容し、光源の出力信号光周波数の校正を不要とすることができる。

[実施例1-2]

この第1実施形態の実施例1-2は実施例1-1を具体化し、符号化関数 $C(f)$ として三角関数を用いる例である。この実施例1-2では、可能な限り小さな a の値(正整数)を用いかつ同一の a 値で r' 個の符号を生成する場合に、 a は1から最大符号数(最大収容符号器数) N を r' で除した値 N/r' までの整数値をとり、 r を r' の剰余である $0, 1, \dots, r' - 1$ とした場合に、第 n 光符号信号 $C_n(f)$ として次式で表せるものを用いる。

[0026]
$$C_n(f) = (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / FCL + r \cdot \pi / 2)) / 2 \quad (7)$$

この光符号信号関数値 $C_n(f)$ は0から1の値であり、符号器11_nの符号化対象光周波数における任意の符号長FCLの区間での積分値は $FCL/2$ であり、符号器11_nは符号化対象とする光周波数領域において、光透過特性が関数値 $C_n(f)$ を符号長FCLの周期で繰り返し、実施例1-1における式(1)と式(2)を満たす。

以下では $r' = 2$ 、従って r を r' で割算した余りは0又は1であり、 a は $1, \dots, N/2$ の値をとる場合を例として説明する。

- [0027] この実施例1-2の光符号信号 $C_n(f)$ の例を図6に示す。図6の横軸は、符号長 FCL で規格化した光周波数、縦軸は強度であり、図6(a)、図6(b)、図6(c)はそれぞれ $a=1, 2, 3$ に対応し、点線が $r=0$ 、実線が $r=1$ に対応する光符号信号である。この光符号信号 $C_n(f)$ は $C_n(f)=0$ 以外では各チップと対応する単一周波数光信号がその配列順にアナログ的に変化する強度をもち、従来の図1に示したチップ対応に“1”か“0”の単一周波数光信号をもつ拡散符号とは異なる。

第 n 光符号信号 $C_n(f)$ を復号化する復号器 12_n の復号化符号 $D_n(f)$ は次式で表されるものを用いる。

[0028]
$$D_n(f) = (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / FCL + r \cdot \pi / 2)) - 1 \quad (8)$$

第 n 光符号信号 $C_n(f)$ と第 n 光符号信号を復号化する第 n 復号化符号 $D_n(f)$ との内積を、符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれる符号長 FCL 分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零でない有限値 $FCL/4$ となり、第 n 光符号信号 $C_n(f)$ と、第 n 光符号信号以外の第 m 光符号信号を復号化する復号器の復号化符号 $D_m(f)$ との内積を符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれる符号長 FCL 分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零であり、実施例1-1における式(5)と(6)を満たす。

- [0029] この実施例1-2に用いられる符号器 11_n の構成例を図7に示す。光入力を、光路長の異なる2組の方路41, 42と、これらと光結合され、入力された各光を2組の方路に合分波する2組のカプラ43, 44とからなるマッハツエンダ干渉計が符号器 11_n として用いられる。カプラ43の入力ポートの一方に入力された光は2つの出力ポートよりそれぞれ方路41, 42に入力される。カプラ44の一方の出力ポートには方路41と42の光路長差で決る光周波数とその整数倍の光周波数成分の光が主として出力され、他方の出力ポートから他の光周波数成分が主として出力される。この光周波数の選択特性はオンオフ的ではなく、なだらかな特性であるため、例えば図5(a)では選択光周波数(規格化された)が f_1 とされた場合であり、選択光周波数 f_1 で強度が1の余弦波状の光出力となる。

[0030] 従ってカプラ44の一方の出力ポートから出力Aとして式(7)に示す第 n 光符号信号 $C_n(f)$ の光が出力される。他方の出力ポートから出力Bとして反転光符号信号 $C_n'(f)$ が出力される。

実施例1-2に用いられる復号器12の構成例を図8に示す。光路長の異なる2組の方路51, 52と光を2組の方路に光結合するカプラ53, 54とからなるマッハツエンダ干渉計55に光符号多重化信号が入力され、マッハツエンダ干渉計55の出力側の一方の出力Aとして式(7)に示す第 n 符号化符号 $C_n(f)$ の光周波数信号が出力され、その出力の光強度が検出器56aにて電気信号として検出される。マッハツエンダ干渉計55の他方の出力Bとして式(7)に示す第 n 光符号信号 $C_n(f)$ を反転した光符号信号 $C_n'(f)$ が出力され、その出力 $C_n'(f)$ の光強度が検出器56bにて電気信号として検出される。出力Aは入力光符号多重化信号と符号化符号 $C_n(f)$ との内積値と対応したものであり、出力Bは入力光符号多重化信号と、1から符号化符号 $C_n(f)$ を減じた $C_n(f)$ の反転符号 $(1-C_n(f))$ との内積と対応したものであり、検出器56aの出力は出力Aを復号化対象光周波数領域 $F_{st}-F_{la}$ の範囲に含まれる光源の光周波数幅FSRの光周波数 f に関して積分した値と対応し、検出器56bの出力は出力Bを復号化対象光周波数領域 $F_{st}-F_{la}$ に含まれる光源の光周波数幅FSRで、 f に関して積分した値と対応する。検出器56aの検出した光強度から検出器56bが検出した光強度が強度差検出器57で減算された強度が出力されて復号器12_nでの復号出力が得られる。例えば強度差検出器57の出力がしきい値以上であればデータ“1”が、しきい値より大でなければデータ“0”が出力される。

[0031] このように、実施例1-2も実施例1-1と同様に、異なる光符号同士の符号長が異なる周期符号を用いた文献2の従来例と異なり、光符号信号同士が直交しているため、異なる光符号信号同士の符号長分の内積の総和は零であり、直交していない周期符号を用いた従来例より符号間干渉が少ない。

この実施例1-2では、符号化符号で符号化される光源の光出力の光周波数幅が一定であり、光源よりの出力光の光周波数が符号器の符号化光周波数領域と復号器の復号化光周波数領域に含まれるならば、光源の光周波数変化の影響を受けないことも実施例1-1と同様である。また、直交していない周期符号を用いた従来例と

異なり、符号間干渉を十分無視できるだけの多周期にわたる光を出力する光源を必要とせず、つまり光源よりの出力光の光周波数帯域幅は特に広くする必要がなく、伝送帯域は光源の光周波数幅FSRより、光源の光周波数変動分をカバーする程度広ければよく、それ程広くする必要がないため伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題を抑止することができる。

- [0032] また、この実施例1-2では、周波数 f 、つまり式(7)中の a の変更に加えて、光符号信号の光周波数軸上での開始位置における位相を $\pi/2$ 変化させる、つまり式(7)中の r を0又は1に変化させることで、単なる周期(a)のみを変更して符号化する場合に比べて倍の符号化符号数を実現することができる。

[実施例1-2の変形例]

実施例1-2として前述したものではデータ系列中のデータ“1”(マーク)の時のみ光符号信号を出力したが、データ“0”(スペース)時にも光符号信号を出力してもよい。つまり、第 n データ系列中のデータ“1”(マーク)で第 n 光符号信号 $C_n(f)$ を出力し、データ“0”(スペース)で第 n 光符号信号 $C_n(f)$ の反転光符号信号 $C_n'(f)$ を出力する。このための符号器11_nとしては図7中に出力側カプラ44の後段に破線で示すように切替器45を設け、これに出力AとBを入力し、切替器45をデータ系列 D_n の各データで制御してデータが“1”(マーク)のときは出力Aを出力し、“0”(スペース)のときは出力Bを出力して、ノンリターンツウゼロの光変調信号とする。

- [0033] この実施例では光符号信号は、マークのときに式(9)と(10)が成り立ち

$$\int C_n(f) D_n(f) = FCL/4 \quad (9)$$

$$\int C_n(f) D_m(f) = 0 \quad (10)$$

スペースのときに式(11)と(12)が成り立つ。

$$\int C_n'(f) D_n(f) = -FCL/4 \quad (11)$$

$$\int C_n'(f) D_m(f) = 0 \quad (12)$$

この実施例においても積分は光源の光周波数幅FSRで行うが、その幅FSRが符号の繰り返し光周波数幅FCLと等しい場合である。

- [0034] 従って、マークの光信号しか送らず、強度差検出器57の出力がマークで $FCL/4$ 、スペースで0となる前記例と比べてマークとスペースの符号で2倍の(3dB)大きな信

号が強度差検出器57の出力として得られる。従って信号対雑音比も3dB向上するため、それだけ符号長FCLを小さくすることが可能となり、伝送路の波長分散の影響を軽減することができる。なお、図7中に破線で示すように、入力側カプラ43の前段に切替器45を設けて、入力光をカプラ41の2つの入力ポートの一方と他方にデータD_nのマークとスペースに応じて切替え入力し、出力側カプラ44の一方の出力ポートのみから出力光を出力してもよい。またマーク(“1”)とスペース(“0”)の符号を入替えても良い。つまりマーク(“1”)及びスペース(“0”)と光符号信号C_n(f)及びC_{n'}(f)との対応づけは任意でよい。

[0035] 符号器11_nとしては、図9に示すように構成してもよい。LN変調器と同様に、電気光学効果を有する例えばLiNbO₃結晶よりなるプレーナ光波回路基板46上に2本の導波路47, 48を構成し、これら導波路47, 48の両端部の近くでこれらを互いに接近させてそれぞれカプラ43, 44を構成し、電気光学効果を用いて電界による複屈折率変化により、これらカプラ43, 44間の導波路47, 48により構成される2組の方路41, 42間に遅延差を与えるために、少なくとも一方の方路41(又は42)に電界を印加するための一対の電極49を設ける。一対の電極49間により方路(導波路)に印加する電圧は、各光符号信号C_n(f)に対応した式(7)を満たす光周波数(波長)信号を符号器11_nにより選択出力するように調整される。

[0036] 図9中に括弧書きで示すように、プレーナ光波回路基板上に方路51, 52、カプラ53, 54を構成して復号器12_nを、マッハツエンダ干渉計つまりろ波器として同様に構成できる。この場合は式(8)を満たすように電極49に印加する電圧を調整する。

この図9に示した構成とすることにより、電極49に印加する電圧を変更して符号化符号C_n(f)又は復号化符号D_n(f)を変更することができ、符号化符号毎に異なる符号器／復号器の組を作成しなくて済むため、装置の製作コストを削減することができる。

また図9に示すように、温度が均質に変化する同一プレーナ光波回路基板46上に2つ組の符号器11_nと11_m($n \neq m$)とを構成し、これら符号器11_nと11_mにより、式(7)中のaの値が同じでrの値が異なる第n光符号信号C_n(f)第m光符号信号C_m(f)を生成する。この二つの光符号信号C_n(f), C_m(f)は、同一光周波数特性で $\pi/2$ の

位相数差であるため、それぞれを符号化する符号器 11_n と 11_m が同期しないで温度変動すると、温度変化による屈折率及び光路長変化で波する光周波数がドリフトし、これら光符号信号 $C_n(f)$ と $C_m(f)$ の相互相関値が劣化する。しかし図9に示す構成によれば符号器 11_n と 11_m が温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装されているため温度変動による相互相関値の劣化を抑止することができる。

[実施例1-3]

第1実施形態の実施例1-3は光符号信号を構成する各光周波数成分であるチップの強度が1又は0をとる。この実施例1-3を適用することができる通信システムの構成例は図4に示したものと同様でよい。

[0037] この実施例1-3における符号器 11_n により生成された光符号信号は実施例1-1及び1-2と同様に、第1〜第N光符号信号はその符号長が同一長FCLであり、かつ、互いに直交性がある。そのような光符号信号であり、更に次の性質をもつものである。符号長FCLの符号化符号 $C_n(f)$ を連続して繰り返して連結した連結符号から符号長FCL分の連続するチップを任意に抜き出したチップ列中の“1”のチップ数と“−1”のチップ数が均衡し(同一数)、かつ互いに異なる符号化符号からそれぞれ生成した互いに異なる連結符号から符号長FCL分の連続するチップをそれぞれ任意に抜き出したチップ列間で、チップ配列の同一位置でチップの値が同時に“1”となる数と同時に“−1”となる数とが等しい。このようにチップで構成される符号の場合は、符号長は単位のない無名数の単なる数である。この点から符号が先の実施例も含め、符号長は符号が繰り返す光周波数幅FCLといえる。

[0038] このような符号は、例えばアダマール符号を用いて作ることができる、図10(a)に1次のアダマール行列 H_1 を、図10(b)に2次のアダマール行列 H_2 を、図10(c)にアダマール行列の漸化式 H_n とをそれぞれ示す。アダマール符号は、アダマール行列の第1行以外の行を取り出し、0を1、1を−1に置き換えたものである。2次のアダマール行列の場合、アダマール符号は、行列の2行目の符号2[0101]、3行目の符号3[0011]、4行目の符号4[0110]となる。これら符号2〜4をそれぞれ連続的に繰り返し連結させた各連結符号はそれぞれ $[\cdots 010101010101\cdots]$, $[\cdots 001100110011\cdots]$

11...], [...011001100110...]となる。ここで、符号3の連結符号と符号4の連結符号は1チップ符号がシフトした関係になるので、この実施例1-3では同一の符号化符号となるから、その一方のみを用いる。

[0039] 符号器 11_n ではこのような連結符号の各チップ対応にその配列順に連続する光周波数を順次割り当て、入力光中の“1”のチップと対応する光周波数成分が選択出力されて符号化される。符号 $C_1 = (0101)$ の連結符号と対応する符号器の選択光周波数は図11(a)に示すようになり、符号 $C_2 = (0011)$ の連結符号と対応する符号器の選択光周波数は図11(b)に示すようになる。

符号器 11_n としては光源よりの符号長FCLの自然数倍又はこれよりわずかに広い連続する光周波数幅 F_w の入力光を入力し、従って符号化符号 $C_n(f)$ の連結符号の各チップと対応して光周波数信号(成分)をろ波選択し、そのろ波選択された光周波数信号を第Nデータ系列と対応する光符号信号 $C_n(f)$ として出力し、あるいは前記チップと対応する光周波数信号(成分)を第Nデータ系列のデータ“1”で出力し、“0”で断にして第Nデータ系列の光符号信号 $C_n(f)$ としてもよい。このようにして符号化された各光符号信号は、前述した連結符号から任意に抜き出したチップ列のもつ性質を備え、互いに異なる光符号信号間の直交性が保たれる。

[0040] 復号器 12_n も、符号器 11_n と同様に連結符号と対応して入力光の光周波数成分(信号)をろ波選択し、少なくとも符号長FCLに相当する周波数幅を復号の対象とする。復号器 12_n の構成例を図12に示す。光符号多重化信号はスプリッタ61によりろ波器62aとろ波器62bに分配され、ろ波器62aにより対応する符号器 11_n と同じ順番の光周波数信号すなわち同じチップに対応する光周波数信号がろ波選択され、ろ波器62bにより、対応する符号器 11_n の符号化符号を反転した符号と対応する光周波数信号、すなわち符号器 11_n が選択しないチップに対応する光周波数信号がろ波選択される。ろ波器62aが選択した光周波数信号の光強度が検出器63aで、ろ波器62bが選択した光周波数信号の光強度が検出器63bでそれぞれ検出され、検出器63aの出力から検出器63bの出力が強度差検出器64で減算されて出力される。このようにして符号器 11_n の出力する光の内から、少なくとも符号化符号を構成する連続するチップに相当する光符号信号が復号される。

[0041] 実施例1-3によれば光源光周波数のドリフトに影響されないことを図13を参照して説明する。光源波長のドリフトがない状態を図13(a)に示す。光源から符号長FCL又はこれよりわずかに広い連続する光源周波数幅 F_w の光信号20が出力され、符号化光周波数領域31の符号器 11_n により光信号20がそのチップ値が“1”と対応する光周波数信号がろ波選択(符号化)されて光符号信号21が生成出力される。この光符号信号21は、復号化光周波数領域32の復号器 12_n により復号光22としてろ波選択されて復号化される。

[0042] 図13(b)に示すように、光源周波数が ΔF_1 だけドリフトすると、符号器 11_n において符号化光周波数領域31において光信号20を符号化して出力する部分が ΔF_1 だけ同一方向にシフトされ、光符号信号21が出力され、また復号器 12_n において入力光多重化信号を復号する部分が ΔF_1 だけ同一方向にシフトされて、復号光22が出力される。

同様に図13(c)に示すように光源周波数のドリフトが大きく ΔF_2 であっても、そのドリフトした光信号20が、符号化光周波数領域31内かつ復号化光周波数領域32内であればそれぞれその領域内で ΔF_2 だけシフトした部分で符号化及び復号化が行われ、何れの場合も、先に述べたように光符号信号21は異なる光符号信号との直交関係が保持される。

[0043] なお光信号においてはその強度として負の成分はあり得ないから、チップ“-1”を“0”とすると、符号 $C_n(f)$ と復号化符号 $C_n(f)$ 及びその反転符号 $(1-C_n(f))$ との各内積を、それぞれ光源周波数 F_w だけ光周波数 f に関しての定積分した値は次式(13)の関係が成立つことは容易に理解されよう。

$$\int C_n(f) \cdot C_n(f) df > \int C_n(f) \cdot (1-C_n(f)) df \quad (13)$$

[実施例1-3の符号器／復号器のろ波器例]

この実施例1-3で用いる光信号を連続的に符号化／復号化する符号器／復号器に用いるろ波器の例を以下に説明する。図14にその一例を示す。結合率を任意に設定できる可変カップラ71が遅延線72を介して多段に接続され、各カップラ71の2つの出力ポート中の遅延線72が接続されていない出力ポートの光出力がそれぞれ位相シフタ73を介して合成用カップラ74にて集約されてろ波選択光出力信号として出力さ

れる。このろ波器による選択光周波数は、例えばJournal of Lightwave technology, vol.12, No.4, 1994, pp 664-669「Photonic FDM Multichannel selector using coherent optical transversal filter」Sasayama他著に示されるように任意の順番の光周波数を選択して、所定の周期(FCL)で連続して繰り返すものとするのが可能である。つまり符号化符号の各“1”のチップと対応した光周波数を選択したものを符号長FCLを周期として連続的に繰り返すもの、つまり符号化光ろ波周波数特性関数 $C_n(f)$ とすることができる。

[0044] この実施例1-3では、高々連結前の符号化符号長FCLに相当する光周波数幅にて光符号信号を伝送することができるため、従来のサイン関数で符号化する方法に比べて必要とする光源の光周波数の幅を小さくすることができ、伝送路の波長分散の影響を少なくすることができる。更に、実施例1-1と同様に、分散補償器17を設けることにより、伝送距離の違いによる、複数の光符号信号間の直交性の崩れも軽減することができる。

以上示したように、この実施例1-3では、光源周波数が、符号器の連結符号で構成されている符号化対象光周波数範囲であれば、光源光周波数がシフトした場合も、少なくとも符号化符号の符号長FCLに相当する周波数幅の光入力であれば、符号器と復号器間の距離によらず、符号器よりの光符号信号はその符号器と対応する復号器で光源周波数がシフトする前と同一の入力強度として受信し、その復号器と対応しない他の符号器よりの光入力に対し直交性を保持するため、符号間干渉をキャンセルする。よって光源周波数の校正が不要な光通信システムを実現することも可能となる。

[実施例1-3の変形復号器]

実施例1-3における復号器12_nの変形例を図15に示す。ろ波器62は、対応する符号器11_nと同じ順番の光周波数信号、すなわち同じ各“1”のチップに対応する光周波数信号を出力Aとして選択ろ波し、また対応する符号器11_nと光周波数選択特性が反転した、すなわち符号器11_nが選択ろ波しないチップに対応する光周波数信号を出力Bとして選択ろ波して出力する。ろ波器62よりのこれら出力AとBは検出器63aと63bに入力され、その光強度がそれぞれ検出され、検出器63aの出力から検出

器63bの出力が強度差検出器64で減算されて出力される。この強度差検出器64の出力は制御部65にも分岐入力され、制御部65はその入力に応じてろ波器62の選択ろ波光周波数をずらして強度差検出器64の出力が最大になるようにする。

- [0045] 図16に図15中のろ波器62の具体例を示す。このろ波器62は符号器としても用いることができる。このろ波器62は、遅延線75により異なる光路長とされた2組の方路76a, 76bと、これら方路76a, 76bを介して接続され、これら2組の方路の光を合分波する、カプラ77と、方路76a, 76bの一方に挿入された位相シフタ73とからなる多段のマッハツエンダ干渉計にて構成されて、光周波数を周期的に選択する。このろ波器62による選択ろ波光周波数(光ろ波周波数特性関数)は、例えばJournal of Lightwave technology, vol.13, No.1, 1995, pp 73-82「synthesis of coherent two-port lattice form optical delay-line circuit」Jinguji他著に示されるように任意の順番の光周波数信号を選択ろ波し、所定の周期FCLで連続して繰り返すようにすることが可能である。このろ波器62の終段のカプラ77の2つの出力ポートの一方から出力Aが、他方から出力Bが出力される。符号器として用いる場合は一方の出力ポートから、例えば出力Aのみが光符号信号として選択ろ波される。

- [0046] 図16に示したろ波器は各段のカプラの両ポート出力が次段へ供給され、終段のカプラ77で出力Aは入力 $\frac{1}{2}$ であるが、図14に示したろ波器では出力は、カプラ74の段数分の1が出力となるため、符号器として用いる場合は、図16に示したろ波器の方がカプラによる分岐損が少ない。

なお図15中のろ波器62としては前述したように、図16に示したもの、図14に示したものなどを用いることができるが、選択光周波数をずらす(シフトさせる)ためには遅延線の遅延量、位相シフタのシフト量、可変カプラの分岐比の1つないし複数を調整すればよい。この調整可能最大値はこの例では直交するに要する光周波数幅がFCLであるので符号長FCLあればよい。

- [0047] 選択光周波数を調整することができるろ波器62の例を図17に示す。この例では図9を参照して説明したと同様な電界による複屈折率変化を用いて又は温度による熱光学効果を用いて屈折率変化を発生させるための電極又はヒータを具備することで遅延量を変更可能な遅延線75' が用いられ、方路76aと76bとの光路差を調整する

ことが可能とされる。この方路76a, 76bと、2組の方路に対し光を合分波する2つのカプラ77と、一方の方路に挿入された遅延量を変更可能な遅延線75' とからなる多段のマッハツエンダ干渉計にてろ波器が構成される。このろ波器による選択光周波数は、遅延量を変更可能な遅延線75' の遅延量を変更することで、ろ波器を構成する各マッハツエンダ干渉計の選択する光周波数をシフトして符号器11_nや復号器12_nの符号化符号、復号化符号の変更や符号化符号、復号化符号の選択光周波数のシフトを行う。

[0048] 符号器11_nあるいは復号器12_nに用いるろ波器の遅延線の遅延量の変更、調整できるもの、つまり可変遅延線としては図18に示すように複数の方路と一つの方路を選択接続する二つの切替器又はカプラ77と78との間に、遅延量が異なる複数の遅延線75₁〜75_p (75_pは遅延量ゼロ)が並列接続される。光入力を選択した一つの遅延線75_p (p=1, ..., P)を通して光信号を出力する。カプラよりも切替器を用いるとカプラの分岐損による光損失が減少する利点がある。所望の遅延量を得るために熱光学効果又は電界による複屈折率変化を用いなくて遅延量が異なる複数の遅延線を切り替えるために、より大きな遅延量変化を実現することが可能となる。

[0049] このような可変の遅延線としては更に図19に示すように、遅延線81を備える方路と遅延線を備えない方路と、これらの一方に切替え接続する切替器82とが多段接続され、これら複数の切替器82の切替え状態を変更して、光入力の遅延量を変更するようにしてもよい。

各遅延線81は遅延量が互いに異なるものにするとい。光入力が通過する遅延線81の組合せを変更して遅延量を調整する。この構成では図18に示したものより少ない遅延線により同等の効果が得られる。

[0050] 次に実施例1-3によれば符号器11_nの選択光周波数がドリフトしても良好に復号が行えることを図20を参照して説明する。図20において図13と対応する部分に同一参照番号を付けてある。図20(a)は符号器選択光周波数(光ろ波周波数特性)のドリフトがゼロの場合であり、図13(a)に示した場合と同様に動作する。図20(b)に示すように符号化選択光周波数が ΔF_1 ドリフトすると、光入力は光符号信号21'のようにろ波符号化される。図20(c)に示すように、符号化選択光周波数が比較的大きく ΔF

ドリフトすると、光入力₂は光符号信号 $21''$ のようにろ波符号化される。

[0051] 光符号信号 $21'$ 、 $21''$ のいずれも、その符号長はFCLであり、従って、先に述べたように連結符号から連続するチップを光源周波数FSR(図20中では F_w と表現する)だけ切り出したチップ列と、光符号信号 $21'$ 、 $21''$ は同一の性質をもつものとなっている。そのため図20(b)、(c)にそれぞれ示すように復号器 12_n で光符号信号 $21'$ 、 $21''$ の各光周波数成分を選択した復号化符号信号 $22'$ 、 $22''$ が得られ、良好に復号することができる。なお、復号化選択光周波数がドリフトした場合は、図15を参照して説明した復号器 12_n を用い、復号化選択光周波数をシフトして良好な復号を行うことができる。

[0052] 以上述べたように実施例1-3によれば、光源周波数、符号化対象光周波数領域31、復号化対象周波数領域32の一方または双方がドリフトしても光源より光信号の光周波数帯がこれら領域31及び32(復号化対象光周波数領域32はそのシフト制御による領域を含む)内にあれば、復号器での入力光強度の劣化がなく、他の光符号信号との直交性も保持され、良好に復号することができる。

[実施例1-3の変形符号器、復号器]

実施例1-3の符号器 11_n 及び復号器 12_n のろ波器の他の例を図21に示す。光入力はろ波器84にされ、このろ波器84は符号化符号を構成する各チップの光周波数信号を異なるポートに出力し、かつ符号長に相当する光周波数だけ離れた光周波数信号を同一のポートに出力する。例えば符号化符号が4つのチップで構成され、そのチップ配列順に光周波数 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 が順次割り当てられているとすると、ポート1には光周波数 $F_1 + qFCL$ ($q=0, 1, 2, \dots$)の光信号が、ポート2、3及び4にはそれぞれ $F_2 + qFCL$ 、 $F_3 + qFCL$ 及び $F_4 + qFCL$ の各光信号が出力される。このように連続する光周波数を繰り返し異なるポートに出力するろ波器としては、分岐する光周波数の光の数と各分岐光の光周波数の間隔との積及び同じポートに出力する光周波数の間隔(Free Space Range)が符号長FCLに等しいアレー導波路格子形光合分波器(AWG: Array Waveguide Grating)を用いることができる。なお、AWGで定義されているFree Space RangeはFSRと略されるが、この明細書で用いられている光周波数幅のFSRとは異なり、この明細書でのFSRに従えば C/FCL (C : 光速)と

表される。

[0053] このろ波器84の符号化符号の選択光周波数、つまり“1”のチップと対応する光周波数信号が出力されるポートを方路85によりカプラ又は合波器86aに接続し、そのカプラ又は合波器86aの出力を出力Aとして出力する。符号化符号の“-1”のチップに対応する光周波数信号、つまり非選択光周波数信号が出力されるポートを方路87によりカプラ又は合波器86bに接続して、そのカプラ又は合波器86bの出力を出力Bとして出力する。図21の例では図11(b)に示した符号化符号 $C_2 = (0011)$ についての方路接続を示している。 $F_1 + qFCL$, $F_2 + qFCL$ を出力するポート1と2は方路87に合波器86bに、 $F_3 + qFCL$, $F_4 + qFCL$ を出力するポート3, 4は合波器86aにそれぞれ接続される。

[0054] その図21に示した構成のろ波器によれば符号器 11_n のろ波器として、また復号器 12_n 中のろ波器として使用できることは容易に理解できる。

なお、符号器 11_n としてはカプラ又は合波器86a, 86bの一方とそれに対する方路85又は87を省略しても良い。また、カプラ又は合波器86a, 86bとしては、光周波数に関わらず光を分岐合波して分岐損が発生するカプラよりも、アレー導波路格子形光合分波器AWGを前記例とは逆に分波器ではなく合波器として用いた方が分岐損による光損失が軽減できる点でよい。このろ波器は図14に示されたろ波器より構成部品が少ないため光損失が少ない利点がある。

[0055] 符号器 11_n としては図22に示すように構成することもできる。図21中のろ波器84と同様のものを用い、その各ポートを方路 $89_1, \dots, 89_E$ を通じて光を通過させるか否かを選択するスイッチ $91_1, \dots, 91_E$ (E は符号化符号を構成するチップ数)をそれぞれ通じて合波器92に接続する。スイッチ $91_1, \dots, 91_E$ 中の符号化符号のチップが“1”と対応するものはオンにし、“-1”に対応するものはオフとする。

ろ波器84を用いて復号器を構成した例を図23に示す。ろ波器84の各ポートに接続された方路 $89_1, \dots, 89_E$ を合波器92aと合波器92bのいずれかに切替接続する切替器 $93_1, \dots, 93_E$ を設け、切替器 $93_1, \dots, 93_E$ を、符号化符号の“1”のチップと対応するものは合波器92a、“-1”のチップと対応するものは合波器92bにそれぞれ接続する。合波器92a, 92bの各出力は検出器63a, 63bにそれぞれ供給され、その

後の構成は図12、図15に示したものと同様である。

- [0056] 図22、図23に示した構成によれば単一の符号器／復号器で任意の光符号／復号信号を生成／復号できるように設定することができる。

ろ波器84を用いる符号器の他の例を図24に示す。光入力は光サーキュレータ94を通じてろ波器84に入力され、ろ波器84の各ポートに接続された方路 $89_1, \dots, 89_E$ の端に光を反射するか否か選択設定することができる選択反射器 $95_1, \dots, 95_E$ が接続され、反射器 $95_1, \dots, 95_E$ により反射された光はろ波器84により合波され、サーキュレータ94aより、光入力と分離されて出力される。選択反射器 $95_1, \dots, 95_E$ は符号化符号の“1”のチップ対応するものは反射に、“-1”のチップに対応するものは非反射に設定する。

- [0057] ろ波器84を用いる復号器の他の例を図25に、図23、図24と対応する部分に同一参照符号を付けて示す。方路 $89_1, \dots, 89_E$ の端に光を反射するか導通するか選択設定することができる通過／反射切替器 $96_1, \dots, 96_E$ を接続する。通過／反射切替器 $96_1, \dots, 96_E$ を通過した光を合波器92aで合波して検出器63aへ供給する。通過／反射切替器 $96_1, \dots, 96_E$ で反射された光はろ波器84で合波してサーキュレータ94を通じて検出器63bへ供給する。通過／反射切替器 $96_1, \dots, 96_E$ は符号化符号の“1”のチップと対応するものは導通に、“-1”のチップと対応するものは反射に設定する。この構成では図23に示した復号器に対し合波器を一つ削減できる。

- [0058] 図21ー図25中に破線で示すように方路 $89_1, \dots, 89_E$ ごとに損失器 $90_1, \dots, 90_E$ を挿入してろ波器84の出力方路毎の光強度比に応じた光損失を付与して、アレー導波路格子形光合分波器AWGに基づき生じるおそれがある方路毎の数dBの光強度差を平準化することが望ましい。このようにすることにより光周波数毎の光強度の強弱による雑音を削減できる。

図26に、ろ波器84を用いる復号器の更に他の例を示す。この例は図11(a), (b)に示した符号語 $C_1 = (0101)$ と $C_2 = (1100)$ の各光符号信号を復号する場合に適用した例である。検出器 $63_1, \dots, 63_4$ 中の光符号信号中の“1”のチップに対応する光周波数信号の光強度出力を正の出力とし、“-1”に対応する光周波数信号の光強度出力を負の出力として強度差検出器へ供給する。符号語 C_1 に対する強度差検出

器64_nの正入力端には検出器63₁と63₃の出力が、負入力端に検出器63₂と63₄の出力がそれぞれ供給され、強度差検出器64_nでこれら正入力端の入力は加算入力とされ、負入力端の入力が減算入力とされ、これらの加減算結果が復号信号出力とされる。符号語C₂に対する強度差検出器64_mの正入力端には検出器63₁と63₂の出力が、負入力端に検出器63₃と63₄の出力がそれぞれ供給され、これらが強度差検出器64_mで加算、減算され、復号信号として出力される。強度差検出器64で、符号化符号中の“1”のチップに対応する各検出器の出力の和をとり、“-1”のチップに対応する各検出器の和をとり、前者の和から後者の和を差し引いて復号信号出力としてもよい。

[0059] この構成によれば、符号化符号(符号語)毎に光を分岐して復号しなくて良いので、それだけ光損失が少ないものとなる。なお図15を参照して説明したように、この場合も1つの復号信号出力が最大となるようにろ波器84のろ波光周波数を制御することが好ましい。

図27はろ波器84を用いる復号器の更に他の例を示す。分散補償器として電気的遅延時間付加器を用いた場合である。ろ波器84の各出力方路毎の検出器63₁, ..., 63₄が切替器97により正と負の符号を付与して符号語毎に出力され、符号化符号を構成する各チップ対応検出出力に対し遅延時間付加器98により、個別に電気的に遅延され、伝送路での光周波数毎に異なる遅延時間による各チップの到着時間の違いが平準化され、これら遅延時間の平準化を受けた検出器出力が強度差検出器64_n, 64_mでそれぞれ加算される。この例では電気信号とされた状態で分散補償を行うため、光信号での分散補償の必要性が軽減できる。また切替器97の切替を設定変更することにより任意の符号化符号を復号することができる。遅延時間付加器98は省略してもよい。

[他の変形例]

符号器11_nのろ波器として出力Aとその反転符号出力Bとを出力するものを用い、例えば図16に破線で示すように、ろ波器の出力側に切替器45を接続して、データ系列D_nで切替器45を制御してデータがマーク(“1”)のときは出力Aの出力を、スペース(“-1”)のときは出力Bの出力を切替えて出力し、ノンリターンツウゼロ信号として

出力する。この場合も図7を参照して説明したようにろ波器の出力側ではなく入力側に切替器45を設けてもよい。また図7において破線の構成を付加した場合と同様に3 dBの利得が得られる。

- [0060] 図28に示すように同一のプレーナ光波回路基板46上に一組の符号器 11_n と復号器 12_m を実装する。これら符号器 11_n の第 n 符号化符号と復号器 12_m の第 m 復号化符号は式(7)中の a の値が同じで r の値が異なるものである。これら符号器 11_n 及び復号器 12_m の組を通信システムの一方向の位置に設け、この通信相手となる通信システムの他方位置に符号器 11_m 及び復号器 12_n の組を設ける。その一方に位置する復号器、例えば 12_m で受信する光符号信号の光周波数に合わせてその組のプレーナ光波回路基板の温度を図15を参照して説明したように温度を調整する。符号器 11_n と復号器 12_m とが、温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装されているため、前記温度調整により、符号器 11_n のろ波器の選択ろ波する光周波数が復号器 12_m のろ波器の選択ろ波する光周波数と同期制御される。従って前記温度を調整することで温度を調整した側の符号器、この例では 11_n から送出する第 n 光符号信号の光周波数は温度を調整しない側の第 m 復号化符号と相互相関値を低く調整することができる。図9を参照して同一基板46上に2つの符号器 11_n と 11_m を構成する場合と同様に、個別に温度変化が発生すると、相互相関値が劣化する光符号信号をそれぞれ符号化する符号器同士を、温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装するために相互相関値の劣化を抑止することができる。前記プレーナ光波回路基板の温度調整は符合器の透過光の強度を検出し、これに基づいて制御してもよい。この場合符号器として2値データの一方向の値で光強度周波数特性が関数 $C_m(f)$ の光信号を、他方の値で光強度周波数特性関数が $(1-C_m(f))$ の光信号をそれぞれ出力する二つの符号器を用いる場合は、両符号器の各透過光の強度の差に応じて前記温度調整をするとよい。更に、図9に示したものを用いる場合は1ユーザ(利用者)に2符号化符号を割り当てるために、システム全体として収容可能なユーザ数が半減する。しかし図28に示す構成によれば、復号器と符号器の組み合わせを用いるため、反射光による干渉が無い符号化符号を用いながら、システム全体として使用可能なユーザ数が半減することはない。なお、この実施例では実施例1

-2で用いた符号化符号について示したが、この実施例は、実施例1-3のアダマー符号で互いにシフトした関係に有る光符号信号もチップのシフトが抑制できるので同様に適用することが出来る。

[0061] 図29に示すように複数收容局の装置と、これら收容局装置からの信号を伝達する複数の光ファイバ 13_A , 13_B , 13_C と、これら複数の光ファイバ 13_A , 13_B , 13_C からの信号を単一光ファイバ13に集線する集線回路99と、集線回路99から単一光ファイバ13を介して集線後の光信号を受ける中央局装置Cstとからなる光通信システムが想定される。このような構成において、複数の光ファイバからの光信号を単一ファイバ13に集線する集線回路99に各收容局装置の符号器を配置する。つまりこの場合は図3(a)に示した構成となる。このようにして收容局装置と中央局装置との距離の違いによらず、全收容局装置からの光信号を同一の波長分散とすることができるため、各收容局装置に対応する各符号器から光符号信号に対して同一の分散補償とすることができる。従って集線回路99から中央局装置を接続する光ファイバ13の光周波数に依存する遅延時間を平準化するように補償する単一の分散補償器で、全符号器からの光符号信号の分散補償ができる。また符号器を集中配置しているために全符号器の符号化特性光周波数の調整が一ヶ所で簡易にできる。

[0062] 更にこれまでの説明は光源10より光信号を符号器11に入力して、符号器11のその符号化符号 $C_n(f)$ に応じた光ろ波周波数特性により、光周波数特性 $C_n(f)$ を付与し、これに対しマーク、スペースに応じて断続させて第 n 光符号信号を生成したが、第2実施形態の実施例2-8で説明するように、符号化符号を構成する各チップと対応する、例えば単1光周波数の光信号を出力するチップ光源を設け、これらチップ光源を、符号化符号 $C_n(f)$ を構成するチップ中の1と対応するチップ光源は出力し、0と対応するチップ光源は出力させないようにチップ光源を符号化符号 $C_n(f)$ に応じてマーク時に出力し、スペース時はいずれのチップ光源からも出力させないようにしてもよい。

[0063] また実施例1-3の符号化符号の性質は次の通りである。同一符号長FCLの異なる符号化符号から任意の二つの符号化符号を選択した場合にその第1の符号化符号と第2の符号化符号が同時にチップ配列上の対応チップの値で“1”となるチップ位置

の数と、第1の符号化符号が“1”となり第2の符号化符号が“−1”となるチップ位置の数が等しいか

第1の符号化符号と第2の符号化符号が同時に“−1”となるチップ位置の数と第1の符号化符号が“−1”となり第2の符号化符号が“1”となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たし、

上記符号化符号を連続して繰り返して連結した連結符号から前記符号長FCL分の連続するチップを任意に抽出したチップ列中の“1”のチップ数と“−1”のチップ数が抽出したチップ列によらず同一で、

互いに異なる任意の二つの符号化符号についてそれぞれ連続して繰り返し連結した互いに異なる連結符号のそれぞれから前記符号長FCL分の連続するチップを任意に抽出した第1のチップ列と第2のチップ列間で第1のチップ列と第2のチップ列が同時に“1”となるチップ位置の数と第1のチップ列が“1”となり第2のチップ列が“−1”となるチップ位置の数が等しいか、第1のチップ列と第2のチップ列が同時に“−1”となるチップ位置の数と第1のチップ列が“−1”となり第2のチップ列が“1”となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たす符号化符号であり、符号化符号を構成するチップにその配列と対応して連続する光周波数が順次割り当てられる。

- [0064] 更に光源光周波数幅FSRは各符号化符号 $C_n(f)$ の符号長FCLの自然数倍であり、各符号器11_nの符号化対象光周波数領域31、各復号器12_nの復号化光周波数領域32は共に光周波数 $F_{st} \sim F_{la}$ 内にあり、かつ $F_{la} - F_{st} > FSR$ である。また $F_{st} \sim F_{la}$ におけるFSR内で $C_n(f) = C_n(f + FCL)$ が成立し、 $C_n(f)$ の反転符号 $(1 - C_n(f))$ と $C_n(f)$ との間で前記式(13)、つまり

$$\int C_n(f) \cdot C_n(f) df > \int C_n(f) \cdot (1 - C_n(f)) df \quad (14)$$

が成立することは明らかである。 $\int dt$ は F_{st} から F_{la} までの任意の区間FSRにおける f に関する定積分を表わす。

- [0065] また $C_n(f)$ は符号化符号 $C_m(f)$ との間で次式(15)の関係が成立することも明らかである。

$$\int C_n(f) \cdot C_m(f) df = \int C_n(f) \cdot (1 - C_m(f)) df \quad (15)$$

なお実施例1-2では式(7)より明らかなように各 $C_n(f)$ について r' 個(典型的な例

は $r' = 2$)の符号化符号を用いることができ、 $a = n$ である。

[第2実施形態](光位相・振幅変調)

この発明の第2実施形態は光周波数軸の搬送波に対し、位相変調や位相振幅変調を行って、従来の問題点を解決した実施形態である。

[実施例2-1]

この第2実施形態を適用した実施例2-1の光通信システムを図30に示す。光送信装置100では入力端子101よりの伝送信号、一般に2値データ系列信号をそのV個(Vは1以上の整数)ごとのデータに応じた1周期未満の位相シフト(位相シフト値)系列、つまり変調位相系列(変調単位系列ともいう)に信号位相量変換器110で変換する。光源120からの光信号を、あらかじめ決めた光周波数(波長)を基準として開始する光周波数(波長)軸上で擬似搬送波の位相を信号位相量変換器110より各位相量に位相変調部130でシフトする。擬似搬送波を以下では単に搬送波ということもある。

- [0066] なお用語「擬似搬送波」は他の実施形態における用語「光周波数特性(関数)」や「符号化符号又は復号化符号」あるいは「光ろ波周波数特性(関数)」と対応する。しかしこの第2実施形態は無線通信技術などに用いられている時間軸上の搬送波に対し、QPSKやQAM変調と同様なことを光周波数軸上の擬似搬送波に対し行うものであるから、理解し易いように用語として「擬似搬送波」を主に用いる。

例えば図31に示すように、データ系列を $V = 2$ 個ずつのデータに分割し、その異なるデータ組ごとに異なる位相シフト量、つまり基準位相0に対しずらされた位相量(以下、位相シフト量はこのことを意味する)を割り当てる。例えばデータ組(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)のそれぞれを、1周期未満の位相量0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に変換する。

- [0067] 前記擬似搬送波として、基準光周波数 f_s からの光周波数差を位相 f とすると400GHzを1周期 Λ とし、各光周波数信号の強度を変数とする三角関数に1をくわえて2で除した関数を想定すると、位相量0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ は図31(a)～図31(d)に示すように光周波数が100GHzづつ順次シフトした光周波数特性となる。図31(a)～図31(d)において左から1番目は擬似搬送波を複素平面上でのベクトルを表わし、

左から2番目は擬似搬送波の瞬時位相に対する光強度特性を、各左端は光周波数に対する光強度特性をそれぞれ示している。

- [0068] 擬似搬送波の周期 Λ の n 倍をFSR、つまり $\text{FSR} = n\Lambda$ ($n=1, 2, \dots$) とすると、光源120は、少なくともFSRの光周波数幅の光信号を出力する。位相変調部130の出力光信号は $((1 + \cos(2\pi f n / \text{FSR} + \Theta))) / 2$ 、位相シフト量 $\Theta = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ のいずれかとなる。

光受信装置200では受信光が分配器210で位相シフト量 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ とそれぞれ対応した4つのろ波器221, 222, 223, 224に分配され、ろ波器221, ..., 224の各透過光の強度が検出器231, ..., 234で検出される。互いに半周期位相がずれた位相シフト量と対応したろ波器の強度を検出した検出器231と233、232と234の各出力がそれぞれ比較器241, 242で互いに引き算される。比較器241, 242の出力から、擬似搬送波の位相シフト量と対応したデータ組に符号信号変換器250で変換して復号データ系列として出力される。

- [0069] 図32-1〜図32-4に、この実施例2-1の光源120の波長特性とパルス光源とした場合の強度時間特性、各位相シフト量 Θ に応じた変調部130の光出力(光送信装置100の光出力)、受信装置200の各ろ波器のろ波特性、各位相シフト量での各ろ波器による透過強度特性、各検出器の検出強度の時間変化の例を示す。各図の最左の列は光源120の出力光であり、出力光の光周波数幅を400GHzとし、出力光がその全波長にわたり平坦な強度を想定している。図32-1〜図32-4の各左から2列目に、それぞれ位相シフト量 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に対応した、位相変調部130の出力光の光周波数特性を示す。各図の左から3列目は、光受信装置200のろ波器221, 223, 222, 224のろ波周波数特性を示す。図32-1〜図32-4毎の変調部出力光を受けた場合の各ろ波器221, 223, 222, 224を透過した透過光の周波数特性を図32-1〜図32-4の各左から4列目にそれぞれ示す。図32-1〜図32-4の各最右列は、検出器231, ..., 234で検出する強度の時間変化をそれぞれ示す。これら図32-1〜図32-4に示されるように、光源出力光のパワーを1とすると、位相変調部130における基準に対する位相シフト量に応じた変調部出力光の光周波数特性と同一のろ波特性を有するろ波器の検出器強度は0.375となり(図32-1では1行目、図3

2-2では2行目)、それとろ波特性が π ずれたろ波器に対応する検出器強度は0.125となり(図32-1では3行目、図32-2では4行目)、両者を比較する比較器では、0.25の出力が得られる。一方、位相変調部130における基準に対する位相シフト量の出力光の周波数特性に対し、ろ波特性が $\pi/2$ 及び $3\pi/2$ それぞれずれたろ波器の検出器強度はそれぞれ0.25である(図3-1では2行目と4行目、図3-2では3行目と1行目)、このためこれら検出器出力を比較する比較器では0の出力が得られる。

[0070] 検出器及び比較器が光周波数毎に透過光強度を検出してこれら強度を比較するのではなく、ろ波器の透過光の各光パルス分の光強度を比較する場合における比較器の出力強度について以下に示す。

位相変調部130の出力光を次式で表す。

$$(1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta))/2) df \quad (16)$$

ここで、 f は基準光周波数からの光周波数差を意味する。ここでは $n=1$ としている。

(1)位相変調部130の入力位相シフト量に応じた位相変調部出力光の光周波数特性と同一のろ波特性を有するろ波器に対応する比較器出力の場合：

$$\begin{aligned} & (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta))/2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta))/2) df \\ & - (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta))/2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta + \pi))/2) df \\ & = (1/8\pi) \int (1 + \cos 2(2\pi f/FSR + \Theta) + 2\cos(2\pi f/FSR + \Theta)) df = 0.25 \end{aligned} \quad (17)$$

左辺1項目は例えば検出器231の出力、2項目は検出器233の出力と対応する。

(2)位相変調部130の入力位相シフト量に応じた位相変調部出力光の光周波数特性と位相が $\pi/2$ 異なるろ波特性を有するろ波器に対応する比較器出力の場合：

$$\begin{aligned} & (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta))/2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta + \pi/2))/2) df \\ & - (1/2\pi) \int ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta))/2) ((1 + \cos(2\pi f/FSR + \Theta - \pi/2))/2) df \end{aligned} \quad (18)$$

$$= (1/8\pi) \int (-2\sin(2\pi f/FSR + \Theta) + \sin 2(2\pi f/FSR + \Theta)) df = 0$$

(19)

なお、この実施例では、擬似搬送波が取り得る位相シフト量(位相シフト値)の数Mが偶数の4であり、これら位相シフト量(位相シフト値)は順次、 $\pi/2$ 異ならせたので受信側で、Mと同数のろ波器を用いているが、擬似搬送波が取り得る位相シフト量(値)が互いに π ずれた関係にない場合は、擬似搬送波が取り得る位相シフト量(値)の出力光とそれぞれ同特性のろ波器とそれと半周期(π)位相がシフトした特性のろ波器とを用いる。従って光受信装置200では2M個のろ波器と、Mと同数の比較器が必要となる。この場合はMの値は任意であるが、位相変調部130が搬送波に与える位相シフト量(位相シフト値)が三角関数の1周期での剰余 Δf がそれぞれ異なる位相シフト量(位相シフト値)である必要がある。

[0071] また、この実施例では光源120の出力光の光周波数特性が平坦であることを仮定しているが、平坦でなく例えばガウシアンである場合は、送信側位相変調部又は受信側ろ波器又は比較器又は検出器において、各光周波数の強度を平準化するように重みをつければよい。

また、この実施例では単一の光送信装置100と光受信装置200の組合せを示したが、他の光送信装置と光受信装置とが同一の光伝送路300を共用する場合にも適用でき、その場合は以下の設定とする。

[0072] 1) 光送信装置における基準光周波数 f_s がFSR以上ずれている場合: FSRも取り得る位相シフト量(位相シフト値)も任意。

2) 光送信装置における基準光周波数 f_s がFSR未満のずれの場合: 同一のFSRで、用いる光源120の光周波数は同一であり、光送信装置のFSRの外の光周波数に対しても同一光伝送路を共用する他の光送信装置で用いる光周波数域もろ波の対象として連続的にろ波するろ波器であること。搬送波の周期 FSR/n の値が光送信装置毎に異なる。周期 FSR/n の値が同一であれば、位相変調部130で変調する位相シフト量(シフト値)の数を0位相も含めてMとおくと基準光周波数 f_s に $FSR/n/M$ を加えた値が全光送信装置でユニークな値となること。ただし、同一の n を異なる光送信装置と受信装置の組が用いる場合は $1/4$ 周期ずれたもののみ直交するの

でMは4となり、半周期ずれたものは同一光送信装置と受信装置の組が用いる。

[0073] 1)の場合、複数の光送信装置で用いる基準光周波数 f_s がFSR以上離れている場合は、使用する光周波数が異なるため、擬似搬送波によらず、搬送波間で干渉しない。

2)の場合、複数の光送信装置で用いる基準光周波数 f_s が同一である場合、使用する光周波数が一致する。しかし、各光送信装置が用いる擬似搬送波の周波数は、FSRの自然数分の1であるため、相互の内積をFSRの区間で積分すると零となり、相互に直交し、搬送波間で干渉しない。

複数の光送信装置で用いる基準光周波数 f_s がFSR以下で異なる場合、搬送波の関数がFSR内での周期関数であるため、FSRの外の光周波数に対しても擬似搬送波と同じ関数で変調するろ波器を用い、光源の光周波数がほぼ同一であれば、相互の内積の積分は零となり、相互に直交し搬送波間で干渉しない。

[0074] この実施例で用いる位相変調部130は図30中に示すように、ろ波器131とそのろ波特性を変化させる変調器132とにより構成される。

例えば、ろ波器131としては図33に示すように構成される。入力光をカプラ131aにより所定の光路長差を有する二組の光路131bと131cに分岐してカプラ131dにより再度合波するマッハツエンダ干渉計を用い、変調器132としてはマッハツエンダ干渉計の一方の方路131bに設けられ、光路長差を変調するものを適用することができる。方路131bと131cを通った光はカプラ131dで干渉し、方路長差に応じた光周波数間隔の成分が出力される。この出力光の光周波数特性は周期的であるため、出力する光の周波数差を例えば100GHzとすれば図31(a)の右端に示すろ波特性が得られる。このようにマッハツエンダ干渉計のように周期的に光周波数をろ波するろ波器131を用いれば、基準光周波数 f_s がFSR以下で異なる場合も、干渉を除去することができる。

[0075] 光路長の変更例としては、図9に示したようにプレーナ光波回路基板上に構成し、その電極49に信号位相量変換器110からの位相シフト量信号を印加してその方路の遅延量を変化させる。この場合はろ波器131と変調器132は直列接続でなく、一体の構成部品となる。つまり変調器132はろ波器131に組み込まれる。

光送信装置100における信号位相量変換器110は例えば図30中に示すように、入力端子101からのデータ系列は直並列変換器110aによりこの例では2系列に分配され、直並列変換器110aからの2系列の2つのデータがD/A変換器110bによりその入力データの組み合わせ(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)に応じてデジタル値0, 1, 2, 3にそれぞれ変換され、例えばこれらの値に応じた大きさの電圧が図9中の電極49に印加される。これらの印加電圧値に応じて、位相変調部130の出力光の擬似搬送波の位相が図31(a)ー図31(d)に示すように変化する。

- [0076] また光送信装置100中のろ波器131は光源120からの光の周波数で少なくともその光周波数幅FSRをろ波し、そのろ波特性、つまり透過率(光強度)ー光周波数特性は、基準光周波数 f_s からの光周波数差を位相とした場合に、各位相の透過率(光強度)が、FSRを自然数 n で除した周期の三角関数に1を加えて2で除した関数に従うものである。

光受信装置200における符号信号変換器250は例えば図1中に示すように比較器241, 242の各出力0又は1が並直列変換器251に並列に入力され、1系列のデータ信号として出力端子201に出力される。光送信装置100の入力端子101に入力された伝送信号が、出力端子201に復元出力されることになる。

- [0077] このようにこの実施例2-1は、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数軸上で所望の周波数の繰り返しで切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬するために、擬似搬送波の周期の自然数倍の光周波数幅の広帯域な光を用い、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルする差動検出を行うことで、同一光周波数の光を用いる場合でも、有限の光周波数幅では直交しない三角関数に起因する擬似搬送波同士の相関を除去して、相関のない搬送波を模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのMPSKを実現することができる。なお第2実施形態が第1実施形態と技術的には基本的に同一思想に基づくものであることは後で説明する。

[実施例2-2]

実施例2-1では、位相変調部130において、ろ波器131がろ波した光又はろ波す

る光の擬似搬送波の位相を変調器132で制御した。この実施例2-2では例えば図34に示すように、変調時の変調量である位相シフト量(値)に応じた光周波数をろ波する複数のろ波器133a, 133b, 133c, 133dを具備し、これらろ波器133a〜133dに光源120からの光が光分岐器134により分岐入力される。これらろ波器133a〜133dの透過光が変調器131により変調位相量(値)に応じて選択出力される。例えばろ波器133a〜133dは図31(a)〜図31(d)にそれぞれ示す波特性、つまり搬送波の位相が 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の特性をもち、これらろ波器133a〜133dの各透過光は変調器132を構成する光スイッチ135a〜135dへ入力される。信号位相量変換器110において直並列変換器110aの出力の2つのデータがデコーダ110cによりデコードされ、データ組(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)にそれぞれ応じて出力端子111a, 111b, 111c, 111dに出力が生じ、出力端子111a〜111dの各出力によりスイッチ135a〜135dの対応する1つがオンにされる。スイッチ135a〜135dの出力光は合波器136を通じて伝送路300へ出力される。

[0078] 図34中に破線で示すように変調器132のスイッチ135a〜135d部分を分岐器134とろ波器133a〜133dとの間に挿入し、ろ波器133a〜133dの透過光を合波器136で合波してもよい。分岐段及び合波段ともに、変調器132として、選択したろ波器にのみ光源からの光を入力し、選択したろ波器からの光を透過させる変調器であってもよい。

この実施例2-2は実施例2-1と異なり、光路長差を変調すべき切り替え時間で切り替えられる素材を選択しなくてもよい効果がある。なお光受信装置200は図30に示した構成のものを用いることができる。擬似搬送波が取り得る位相シフト量(値)の数 M が4の場合を例としたが M は任意とすることができる。

[実施例2-3]

実施例2-3では位相シフト量が π ずれた擬似搬送波の二つを一組として用い、位相シフト量が互いに $\pi/2$ ずれた擬似搬送波の異なる組が伝送信号の2つのデータ組の異なるものと対応付ける。実施例2-3が適用される光送信装置の例を図35(a)に示す。光源120、ろ波器に対する条件は実施例2-1, 2-2の場合と同様である。各組をなす2つのろ波器はそのろ波特性の位相シフト量が π 異なる、即ち、それぞれ

の透過光周波数が $\text{FSR}/2/n$ ずれている。本実施例で用いる擬似搬送波を i 番搬送波とし、 $2\pi f = \Theta$ とすると、各組の特性関数は $C_i(\Theta)$ 又は $C_i(\Theta + \pi)$ 及び $C_i(\Theta + \pi/2)$ 又は、 $C_i(\Theta + 3\pi/2)$ となり、 $\int d\Theta$ を区間FSRの定積分とすると次式が成立つ。

$$[0079] \quad \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + \pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = \int C_i(\Theta) (C_i(\Theta + 3\pi/2) - C_i'(\Theta + \pi/2)) d\Theta = 0 \quad (20)$$

$$\int C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i(\Theta)) d\Theta = \int C_i(\Theta + \pi) (C_i(\Theta + \pi) - C_i'(\Theta + \pi)) d\Theta \quad (21)$$

図36(a)に複素座標上におけるQPSKの信号点(座標点)を、図36(b)にQPSKを模擬する場合の信号データ組と、座標点と選択ろ波位相の組の例を示す。ここで組数 $M/2=2$ とし、一方の組の位相シフトが0と π 、他方の組の位相シフトが $\pi/2$ と $3\pi/2$ とし、その各座標点を図36(a)に単位円上で示している。位相シフトが0と π の組における0と π はx軸上の1と-1にそれぞれ相当し、位相シフトが $\pi/2$ と $3\pi/2$ の組における $\pi/2$ 、 $3\pi/2$ はy軸上の1と-1に相当する。座標点はx軸の値を括弧内における左に、y軸の値は括弧内の右にそれぞれ記載した。

[0080] 位相変調部130は、信号位相量変換器110よりのデータ組の一方、図36(b)の例では上位ビット(データ)の0又は1に応じて、0位相シフト又は π 位相シフトの擬似搬送波の光と、下位ビット(データ)の0又は1に応じて $\pi/2$ 位相シフト又は $3\pi/2$ 位相シフトの擬似搬送波の光とを出力する。つまりこの出力される擬似搬送波光の変調単位ごとにデータ系列中の2つのデータの組合せ符号を表わす光符号信号といえる。

図35(a)に示す例では図34と同様に各擬似搬送波対応のろ波器133a-133dが設けられ、0相のろ波器133aと π 相のろ波器133cとが組とされ、 $\pi/2$ 相のろ波器133bと $3\pi/2$ 相のろ波器133dとが組とされる。変調器132aと132bとして切替スイッチが設けられ、信号位相変換器110の直並列変換器110aの上位ビットにより変調器132aのスイッチが制御され、この上位ビット(データ)が“0”であれば変調器132aのスイッチは0相ろ波器133aに接続され、“1”であれば π 相ろ波器133cに接続される。直並列変換器110aの下位ビット(データ)により変調器132bとしてのスイッチが制

御され、この下位ビットが“0”であれば $\pi/2$ 相ろ波器133bに接続され、“1”であれば $3\pi/2$ 相ろ波器133dに接続される。これら変調器132a, 132bとしての各切替スイッチにより切替え出力された各ろ波器の透過光は合波器136を通じて光伝送路300へ出力される。

[0081] つまり端子101よりの入力データ系列は直並列変換部(系列変換部という)110aで各データごとに第1分離データ系列(下位ビット系列)と第2分離データ系列(上位ビット系列)と振り分けられ、第1分離データ系列の各データごとにその値に応じて変調部132bが、第2分離データ系列の各データごとにその値に応じて変調部132aがそれぞれ制御され、それぞれ対応する擬似搬送波(光強度周波数特性)の光符号信号が出力され、これら光符号信号が合成されて光符号信号として出力される。

変調器132a, 132bとしてはどのろ波器に光を入力するか選択するようにしてもよい。つまり図35(b)に示すように光源120よりの光を分岐器134により2分岐し、その一方の分岐器を変調器132aとしてのスイッチにより0相ろ波器133aと π 相ろ波器133cに切替え入力し、他方の分岐光を変調器132bとしてのスイッチにより $\pi/2$ 相ろ波器132bと $3\pi/2$ 相ろ波器133dに切替え入力し、ろ波器133a〜133dの各透過光を合波器136を通じて光伝送路300へ出力してもよい。ろ波器133a〜133dの入力側と出力側ともに、切替スイッチの変調器として、選択したろ波器にのみ光源からの光を入力し、選択したろ波器からの光を透過させるようにしてもよい。

[0082] この実施例と対応する光受信装置は図30に示したものと同様の構成とすることができ。ただし比較器241と242は+1又は-1を出力するため図30中の光受信装置200中に破線枠で示すように変換部241a, 242aにより、比較器241, 242の出力中の-1を0として符号変換器250へ供給する。これにより符号変換器250から光送信装置100の入力伝送信号系列と同一の信号系列が得られることは容易に理解されよう。

このようにして、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのQPSKを実現することができる。

[実施例2-4]

実施例2-4は擬似搬送波により16QAMを模擬したもので、この例では16種類の

データ組に応じて光源からの光を、位相が半周期(π)ずれた擬似搬送波に模擬する二つを一組とした二組で、一方の組、他方の組との擬似搬送波は互いに位相シフト量が4分の1周期($\pi/2$)異なり直交する位相シフト関係にあり、これら4つの擬似搬送波の光強度(振幅)を2値のいずれかである光信号を合波伝送する。

[0083] 実施例2-4の構成例を図37-1及び図37-2に示す。図37-1に示す光送信装置100において、0相、 $\pi/2$ 相、 π 相、 $3\pi/2$ 相の4つの擬似搬送波生成用ろ波器133a-133dを用いた場合である。光源120、ろ波器133a-133dに対する条件は実施例2-3のそれと同様である。

図38(a)に16QAMの座標(x軸を実数部、y軸を虚数部とした)上の信号点(座標点)とデータ組を示し、図38(b)に各データ組に対する擬似搬送波の位相シフトと光強度(振幅)との関係を示す。例えばデータ組が(0000)の場合、模擬搬送波の位相シフトが0で光強度が3の光と、位相シフト $\pi/2$ で強度が3の光を伝送路300に出力し、データ組が(0101)の場合、擬似搬送波の位相シフトが0で強度が3の光と、位相シフトが $3\pi/2$ で強度が1の光を光伝送路300へ出力する。端子101よりの伝送信号系列を信号位相振幅量変換器140で4データの組ごとに図38(b)に示す位相シフトと強度を示す位相振幅情報に変換し、光源120よりの光を、位相振幅変調部150で前記位相振幅情報に応じた擬似搬送波位相及び光強度の2つの光信号に変調して光伝送路300へ出力する。

[0084] 信号位相振幅量変換器140では例えば直並列変換部110cにより、入力伝送信号系列が4つの信号系列に分けられる。位相振幅変調部150はこの例では擬似搬送波の位相シフトが0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の各ろ波器133a, 133b, 133c, 133dと2つの変調器151及び152と、合波器136とにより構成される。直並列変換器110bよりの4つの信号系列から順次1ビット(データ)を取り出した各4ビット(データ)組ごとに、変調器151では4データ組の最上位(図38(b)の最も左側)のデータにより切替スイッチ151aが制御され、スイッチ151aはデータが0で0相ろ波器133aに、データが1で π 相ろ波器133cに接続され、このスイッチ151aよりの出力光は、振幅変化部151bでデータ組中の上位から3番目のデータにより強度が制御され、データが0で強度3に、1で強度1にされて合波器136へ出力される。変調器152では4データ組の上

位から2番目のデータにより切替スイッチ152aが制御され、スイッチ152aはデータが0で $\pi/2$ 相ろ波器133bに接続され、データが1で $3\pi/2$ 相ろ波器133dに接続され、スイッチ152aよりの出力光は振幅変化部152bでデータ組中の最下位データにより強度が制御され、データが0で強度3に、1で強度1にされて合波器136に出力される。

[0085] つまり端子101よりの入力データ系列は直並列変換部(系列変換部という)110cにより第1〜第4分離データ系列にデータごとに順次振分け分離され、

第3分離データ系列の各データごとにその値に応じて位相変調部152aが、第4分離データ系列の各データごとにその値に応じて位相変調部151aがそれぞれ制御され、第1分離データ系列の各データごとにその値に応じて振幅変化部152bが第2分離データ系列の各データごとにその値に応じて振幅変化部151bが制御される。

図39に示すように、光源120とろ波器133a〜133dとの間に変調器151及び152を挿入してもよい。この場合は光源120よりの光を分岐器134で2分岐し、その一方の光を、変調器151でまず振幅変化部151bにより、上位から3番目のデータに応じて強度が3又は1に制御し、その制御された光を、切替スイッチ151aで最上位データにより0相ろ波器133a又は π 相ろ波器133bに切り替え出力する。分岐器134よりの他方の光を、変調器152でまず振幅変化部151bにより、最下位データに応じて強度が3又は1に制御し、その制御された光を、切替スイッチ152aで上位から2番目のデータにより $\pi/2$ 相ろ波器133b又は $3\pi/2$ 相ろ波器133dに切り替え出力する。

[0086] ろ波器の各2組について、その入力光を3番目のデータ、最下位データによりそれぞれ振幅変化部151b, 152bで強度制御し、各2組のろ波器中の何れかの選択を、最上位データ、2番目のデータにより切替スイッチ151a, 152aでそれぞれ行って出力してもよい。逆に光源からの光を2つの切替スイッチ151a, 152aにより、各組のろ波器の何れかに入力し、各組のろ波器の出力光を、それぞれ振幅変化部151b, 152bで強度制御して出力してもよい。

光受信装置200は図37-2に示すように、図30に示したろ波器221〜224、検出器231〜234、比較器241, 242とそれぞれ同様のものが用いられるが、符号信号変換器250の代りに、比較器241, 242の各出力の極性(正負)を含む2つのレベル

(強度)、つまり各4つのレベルに対応した4個のデータの組に変換し、これと直列に出力する符号信号変換器(データ生成手段)260が用いられる。つまり比較器241, 242の出力としては、図38(b)に示す3, 1, -1, -3の何れかが出力され、これらの組み合わせと対応して、図38(b)中のデータ組が出力される。

[0087] このような符号信号変換器260としては例えば図37-2の光受信装置200中に示すように、比較器241, 242の各出力はA/D変換器261, 262でそれぞれサイン(符号)を含む3ビットのディジタル値に変換され、これら3ビット、(全部で6ビット)のディジタル値をアドレスとして変換メモリ265を読み出せば、図38(b)に示した対応関係をもつ4ビットのデータ組が出力され、出力データ組を並直列変換器(データ生成手段)266で直列データに変換して出力端子201へ出力する。なお、変換メモリ265にはアドレスと読み出されるデータの間を関係を図38(b)に示す比較器出力とデータ組の関係が得られるように予め記憶しておくものとする。

[0088] このようにしてこの実施例2-4は、実施例2-1と同様に、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数軸上で所望の周波数の繰り返しで切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬するために、模擬搬送波の周期の自然数倍の光周波数幅の広帯域な光を用い、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルする差動検出を行うことで、同一光周波数を用いる場合でも、有限の光周波数幅では直交しない三角関数に起因する擬似搬送波同士の相関を除去して、相関のない搬送波を模擬し、互いに直交する複数の模擬搬送波を半周期で強度変調し、同時に伝送することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのQAMを実現することができる。

[実施例2-5]

前記実施例では擬似搬送波として光周波数軸上でアナログ的に変化するものを用いたが、実施例2-5は擬似搬送波として、光周波数軸上でディジタル的に断続されるものを用いる。光送信装置100は図40に示すように、信号位相量変換器110、光源120からの光を光周波数(波長)軸上で複数のチップに分割して透過するろ波器137と、変調器132とからなる位相変調器160を備える。

[0089] 光源120が出力する光の光周波数幅をFSRとする。

ろ波器137は、光源120の光を受けて、光源120の出力する光の光周波数で少なくとも光周波数幅FSRをろ波し、光源からの光周波数幅FSRの光を、4の倍数であるL個のチップに光周波数軸上で分割してそのチップを選択的に透過させる。以下のようにろ波器の光を透過するチップの選択を位相の値にマッピングする。ここで $L/4$ の約数をSとする。図41にろ波特性の例を示す。

位相0のろ波器137a:連続する2Sチップをオン(通過)としその次の2Sチップをオフ(遮断)とすることをLまで繰り返してろ波する。

[0090] 位相 $\pi/2$ のろ波器137b:連続するSチップをオフ(遮断)としその次の2Sチップをオン(通過)としその次のSチップをオフ(遮断)とすることをLまで繰り返してろ波する。

位相 π のろ波器137c:連続する2Sチップをオフ(遮断)としその次の2Sチップをオン(通過)とすることをLまで繰り返してろ波する。

位相 $3\pi/2$ のろ波器137d:連続するSチップをオン(通過)としその次の2Sチップをオフ(遮断)としその次のSチップをオン(通過)とすることをLまで繰り返してろ波する。

[0091] 例えば $L=4$, $S=1$ の場合のろ波器137a, 137b, 137c, 137dの各ろ波光周波数特性を図41に示す。光周波数軸上で4Sチップ相当のFSR/nを周期とし、その周期の1/2の幅の2Sチップ相当、つまり1周期を 2π とし、 π 幅で2Sチップを0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ の各位相位置にシフトしたその各2Sチップ部分をろ波器137a, 137b, 137c, 137dはそれぞれ光を透過させるろ波特性であるろ波器137a, 137b, 137c, 137dの各ろ波特性を図41(a)、図41(b)、図41(c)、図41(d)にそれぞれ示す。従ってこれらろ波器137a, 137b, 137c, 137dを透過した光は、光周波数(波長)軸上でFSR/nを周期とする擬似搬送波が π 幅の方形波、つまりデューティ比が50%でそれぞれ0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ に位相変調されたものとなる。

[0092] この実施例2-5ではこのような位相の擬似搬送波2つと、2個のデータの組とを対応づけてQPSK変調を可能とする。この実施例2-5ではろ波器137a, ..., 137dを0, ..., $3\pi/2$ にそれぞれ対応づけているから、図35(a)に示した光送信装置100と同様に信号位相量変換器110よりの2個のデータにより、図40において変調器132a, 132bにより、それぞれ0相ろ波器137aの出力光か π 相ろ波器137cの出力光か

を、また $\pi/2$ 相ろ波器137bの出力光か $3\pi/2$ 相ろ波器137dの出力光かをそれぞれ選択して、合波器136を通じて光伝送路300へ出力すればよい。

[0093] 図35(b)に示したように、変調器132a, 132bをろ波器137aー137dの入力側へ挿入してもよい。ろ波器137aー137dの入力側と出力側とにそれぞれ変調器を挿入してもよい。

この実施例2-5における光受信装置200は、図30中に示した光受信装置200のろ波器221ー224の代りに、ろ波器137aー137dとそれぞれ同一ろ波特性の0相ろ波器225、 $\pi/2$ 相ろ波器226、 π 相ろ波器227、 $3\pi/2$ 相ろ波器228を用い、その他は図30の光受信装置と同一構成とすればよい。従って対応する構成には、図30で付けた参照番号と同一番号を付け、またろ波器には参照番号を括弧を付けて図37-1に示した。

[0094] 図42-1ー図42-4に、この実施例2-5の光源120の光周波数特性とパルス光源とした場合の光の強度-時間特性、各位相に応じた変調部出力(送信装置の出力)、受信装置のろ波器のろ波特性、擬似搬送波の各位相での送信出力に対する受信装置のろ波器による透過出力、各検出器で検出する強度の時間変化の例をそれぞれ示す。各図中の最左の列は光源出力である。ここで、光源120の光周波数幅を400GHzとし、光源の出力の全光周波数にわたり平坦な強度を想定し基準光周波数 f_s からの光周波数差で示している。図42-1ー図42-4はそれぞれの変調部による位相シフト0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ にそれぞれ対応した変調部出力を左から2列目に示す。左から3列目は、光受信装置200に具備するろ波器225ー228のろ波特性(関数)を、その列の1行目ー4行目にそれぞれ示す。各図42-1ー図42-4ごとに、そこに示す変調部出力が入力された場合のろ波器225ー228を透過する光周波数特性を左から4列目の、第1行目ー第4行目にそれぞれ示す。最右列は、各検出器231ー234が検出する検出強度の時間変化を、それぞれ第1行目ー第4行目に示す。

[0095] 各図42-1ー図42-4に示されるように、全チップ透過時の検出器でのパワーを1とすると、変調部出力の光周波数特性と同一のろ波特性を有するろ波器と対応する検出器強度は0.5となり、変調部出力の光周波数特性と π ずれたろ波特性のろ波器と

対応する検出器強度は0となり、これら両者を比較する比較器では、0.5の出力が得られる。例えば図42-1においては1行目の変調部出力が入力され、ろ波器231の出力光に対する検出強度は1行目に示すように0.5になり、ろ波器233の出力に対する検出強度は3行目に示すように0になる。変調部出力の光周波数特性に対し、ろ波特性がそれぞれ π 及び $3\pi/2$ ずれたろ波器と対応する各検出器強度はそれぞれ0.25であるため、これら両者を比較する比較器では0の出力が得られる。例えば図42-1においてはろ波器232及び234の各出力光に対する検出強度は2行目及び3行目にそれぞれ示すように0.25になる。

[0096] ここで、各チップの光周波数軸上の透過特性は、矩形であることが望ましいが、図中でのチップの区別の容易さから三角形にて示している。但し、全チップ透過時の検出器でのパワーを1として規格化しているため、光周波数軸上の透過特性が三角であっても、ガウス分布であっても一般性を失うことなく実施例2-5は先に説明したように作用する。

図40では単一の光送信装置100と光受信装置200の組合せしか示していないが、他の光送信装置と光受信装置とが同一の光伝送路300を同一の光周波数で共用する際は、異なるLの値を選択する。Lは位相シフトの数Mに対応する4の倍数であり、かつ光周波数帯FSRを構成するチップ数を任意の整数nで除した値である。Sの値は、Lを位相シフトの数M即ち4で除した値である。位相シフト量の番号をPとすると $P=0, 1, 2, 3$ であり、 $P=0$ は位相シフト0、 $P=1$ は位相シフト $\pi/2$ 、 $P=2$ は位相シフト π 、 $P=3$ は位相シフト $3\pi/2$ に対応する。即ち $2\pi P/M$ ($M=4$) である。Lチップ毎に、この位相シフト量の番号PにSを乗じたPSに1からL/2を加えた値のLに関する剰余に相当するチップを透過率1とし、それ以外のチップを透過率0とすることを少なくともn回繰り返す。即ちAをLで割算した剰余を $\text{MOD}(A, L)$ とすると、 $(Q-1)L + \text{MOD}(PS+1, L) \sim (Q-1)L + \text{MOD}(PS+L/2, L)$ でQを1から上記nまで変化させたチップ番号となるチップの透過率を1とし、残りのチップの透過率を0とする。ここで選択したLの値とそれに対応するnの値との積は一定であるため、受信側の差動検出により、擬似搬送波同士の内積がFSRの区間で積分すると零となり、受信対象外の他の擬似搬送波の入力をキャンセルすることができる。

[0097] 上記L, M, n, S, P, Qの関係例として $n=1$, $M=4$, $S=6$, $L=24$ の場合の透過率を1とするチップを図43(a)に薄墨色を付けて示し、 $n=2$, $M=4$, $S=3$, $L=12$ の場合の透過率1のチップを図43(b)に示す。

なお、実施例2-5で用いるろ波器が、FSRの外の光周波数に対しても擬似搬送波と同じ関数でかつFSRでの周期関数に従うろ波器であり、同一光伝送路を共用する他の光送信装置が用いる光周波数域もろ波の対象とするならば、相互の内積のFSRでの積分は零となり、相互に直交し搬送波間で干渉しない。この実施例2-5で用いるろ波器としては例えば、図16に示したものをを用いる。

[0098] このようにして実施例2-5では、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、広帯域な光を光周波数軸上で所望の周波数の繰り返し切り出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのQPSKを実現することができる。

[実施例2-6]

実施例2-5で述べたように、光周波数(波長)軸上で擬似搬送波を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ のいずれかの位相シフトに、幅 π のチップ連で位相変調し、図35に示したと同様の手法によりQPSK変調を模擬することができる。本実施例で用いる擬似搬送波を i 番搬送波とし、 $2\pi f = \Theta$ とすると、各組のろ波特性関数は $Ci(\Theta)$ 又は $Ci(\Theta + \pi)$ 及び $Ci(\Theta + \pi/2)$ 又は $Ci(\Theta + 3\pi/2)$ となり、 Σ を $\Theta = h\delta\Theta$ として、 $h=0$ から $FSR/\delta\Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和とすると、次式が成立つ。

$$[0099] \quad \Sigma Ci(\Theta) (Ci(\Theta + \pi/2) - Ci'(\Theta + \pi/2)) = \Sigma Ci(\Theta) (Ci(\Theta + 3\pi/2) - Ci'(\Theta + 3\pi/2)) = 0 \quad (22)$$

$$\Sigma Ci(\Theta) (Ci(\Theta) - Ci(\Theta)) = \Sigma Ci(\Theta + \pi) (Ci(\Theta + \pi) - Ci'(\Theta + \pi)) \quad (23)$$

式(22)及び式(23)は、それぞれ式(20)及び式(21)の積分演算をデジタル処理する場合の演算式である。

実施例2-5で示した擬似搬送波を用い、図37-1及び図37-2を参照して説明した実施例2-4の手法と同様にして、QAM変調を模擬することができることは容易に理

解されよう。このQAM変調の場合は、図37-1及び図37-2中に括弧書きで示すように、光送信装置100においては、ろ波器133a-133dの代りにろ波器137a-137dを用い、信号位相振幅量変換器111からのデータ組中の2ビットに応じて、変調器151でろ波器137aと137cの一方を選択し、光強度を1又は3のいずれかに制御し、データ組中の他の2ビットに応じて変調器152で、ろ波器137bと137dの一方を選択し、光強度を1又は3のいずれかに制御する。光受信装置200ではろ波器221-224の代りにろ波器225-228を用い、その他は変更する必要はない。変調器151, 152の挿入位置などについても実施例2-4と同様のことがいえる。またこの実施例2-6の効果は実施例2-5と同様の理由により同様に得られる。

[0100] また実施例2-5で示した擬似搬送波を用いて、任意のMシフトのいずれかの位相シフトに、幅 π の方形波で位相変調して、MPSK変調を模擬することができる。

即ち位相シフトの数がMである場合、一周期分のチップ数であるLは、Mの倍数であり、かつ2の倍数であり、光周波数帯FSRを構成する全チップをnで除した値となる。L=MSとすると、Lチップ毎に、位相シフト量の番号P(P=0, ..., M-1, 1周期を 2π とすると位相シフト量は $2\pi P/M$ と表わされる)にSを乗じたPSに1からL/2を加えた値のLに関する剰余に相当するチップを1とし、それ以外のチップを0とすることを少なくともn回繰り返す。即ちAをLで割算した剰余をMod(A, L)とすると、 $(Q-1)L + \text{Mod}(PS+1, L) - (Q-1)L + \text{Mod}(PS+L/2, L)$ でQを1から上記nまで変化させた番号となるチップを1とし、残りのチップを0とする。

[0101] 従って、nの異なるi番搬送波とk番搬送波(kはi以外の搬送波番号)に対応する擬似搬送波の関数をそれぞれ $C_i(\theta)$, $C_k(\theta)$ とし、 Σ を $\theta = h \delta \theta$ として、h=0から $\text{FSR}/\delta \theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和とし、Pを零以外の有限値とすると次式が成立つ。

$$\Sigma (C_i(\theta) (C_i(\theta) - C_i'(\theta))) = P, \Sigma C_k(\theta) (C_i(\theta) - C_i'(\theta)) = 0$$

(24)

この実施例で、光周波数帯FSRを構成する全チップ数 $nL=24$ で、M=3の例を以下に示す。LはMの倍数であり、かつ2の倍数であり、かつ24の約数であるので、24か12か6となり、nはそれぞれ1, 2, 4、Sはそれぞれ8, 4, 2となる。(n, L, M, S) =

(1, 24, 3, 8)と(2, 12, 3, 4)の場合を図44に示す。図で、薄墨色が1のチップを意味する。(n, L, M, S) = (1, 24, 3, 8)の場合、n=1であるからQ=1だけであり、図44(a)の左側の図に示すように、位相シフト0(P=0)で $(1-1)24 + \text{Mod}(0 \cdot 8 + 1, 24) = 1$ 番目のチップaから $(1-1)24 + \text{Mod}(0 \cdot 8 + 24/2, 24) = 12$ 番目のチップbまで1、位相シフト $2\pi \cdot (1/3)$ (P=1)で、図44(c)の左側の図に示すように $(1-1)24 + \text{Mod}(1 \cdot 8 + 1, 24) = 9$ 番目のチップaから $(1-1)24 + \text{Mod}(1 \cdot 8 + 24/2, 24) = 20$ 番目のチップbまで1、位相シフト $2\pi \cdot (2/3)$ (P=2)で図44(c)の左側の図に示すように $(1-1)24 + \text{Mod}(2 \cdot 8 + 1, 24) = 17$ 番目のチップaから $(1-1)24 + \text{Mod}(2 \cdot 8 + 24/2, 24) = 4$ 番目のチップbまでがチップ1となる。つまりチップが最も大きい番号は24番目までであるからチップ1番目から4番目とチップ17番目から24番目までのチップが1となる。

[0102] (n, L, M, S) = (2, 12, 3, 4)の場合、n=2であるからQ=1とQ=2とがあり、図44(a)～図44(c)の各右側の図に示すように位相シフトP=0で、かつQ=1で $(1-1)12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 1, 12) = 1$ 番目のチップaから $(1-1)12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 12/2, 12) = 6$ 番目のチップbまでと、Q=2で $(2-1)12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 1, 12) = 13$ 番目のチップcから $(2-1)12 + \text{Mod}(0 \cdot 4 + 12/2, 12) = 18$ 番目のチップdまで1、Q=2で位相シフト $2\pi \cdot (1/3)$ (P=1)、かつQ=1で $(1-1)12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 1, 12) = 5$ 番目のチップaから $(1-1)12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 12/2, 12) = 10$ 番目のチップbまでとQ=2で $(2-1)12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 1, 12) = 17$ 番目のチップcから $(2-1)12 + \text{Mod}(1 \cdot 4 + 12/2, 12) = 17$ 番目のチップdまで1、位相シフト $2\pi \cdot (2/3)$ (P=2)かつQ=1で1番目のチップから2番目のチップまでと、9番目チップから12番目のチップまでと、Q=2で13番目のチップから14番目のチップまでと、21番目のチップから24番目のチップまで1、つまりQ=1で $(1-1)12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 1, 12) = 9$ 番目のチップaから $(1-1)12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 12/2, 12) = 2$ 番目のチップbまでが1、Q=2で $(2-1)12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 1, 12) = 21$ 番目のチップcから $(2-1)12 + \text{Mod}(2 \cdot 4 + 12/2, 12) = 14$ 番目のチップdまでが1となる。ここでQ=1では1のチップがシフトできる範囲は1番目から12番目であり、Q=2で1のチップがシフトできる範囲は13番目から24番目である。この実施例でも図から明らかなように、nが異なる他方の信号を

受けても受信装置側で擬似搬送波間の干渉はキャンセルされ、それぞれ独立に受信可能である。

[0103] この実施例の光送信装置のろ波器は例えば、図2-5でろ波器131が、0相、 π 相、 $\pi/2$ 相、 $3\pi/2$ 相の4個の代わりに、0相、 $2\pi/3$ 相、 $4\pi/3$ 相の3個のろ波器を具備する。この実施例の光受信装置は、0相、 π 相、 $\pi/2$ 相、 $3\pi/2$ 相の4個のろ波器とこれらに対しそれぞれ π 位相シフト量の異なる4個のろ波器に接続する検出器出力同士を比較する二組の比較器の代わりに、0相、 $2\pi/3$ 相、 $4\pi/3$ 相の3個のろ波器と、それぞれに対し π 位相シフト量の異なる π 相、 $5\pi/3$ 相、 $\pi/3$ 相の3個のろ波器と、互いに π 位相シフト量の異なるろ波器に接続する検出器出力同士を比較する3組の比較器を具備している。

[0104] このようにして、正負の極性を有し、搬送波の間に相関がない搬送波を、光周波数が広帯域な光を光周波数軸上で所望の周波数の繰り返し切出した正負の極性を有しない光周波数軸上の強度変調で模擬し、模擬した搬送波を位相変調することで、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でMPSKを実現することができる。

[実施例2-7]

図37-1に示した光送信装置100中の π 相ろ波器133c(137c)と $3\pi/2$ 相ろ波器133d(137d)を省略し、これに伴い変調器151, 152中の切替スイッチ151a, 152aを省略して0相ろ波器133a(137a), $\pi/2$ 相ろ波器133b(137b)をそれぞれ変調器151, 152中の振幅変化部151b, 152bに接続し、信号位相振幅量変換器111は信号振幅量変換器112とし、2個のデータ組、つまり図30中の信号位相量変換器110内の直並列変換部110aとし、一方のビット(データ)と他方のビット(データ)を変調器151, 152に対応づけて光強度をビットが0で3に、ビットが1で1に制御するようになる。光受信装置200では、符号変換器260において比較器241, 242の出力強度が3であればデータ0とし、強度が1であればデータ1とし、これらを直列に出力する。

[0105] このようにすれば実施例2-4で述べた光周波数(波長)軸上の三角関数の擬似搬送波に対しても、実施例2-6で述べた光周波数(波長)軸上の方形波状擬似搬送波に対しても、信号点を図38(a)中の第1象限の4つの信号点とするQAM変調を行う

ことができる。

このように4つの信号点のQAM変調は、用いる2組のろ波器を133b(137b)と133c(137c), 133c(137c)と133d(137d), 133a(137a)と133d(137d)のいずれかにすることにより図38(a)中の第2象限、第3象限、第4象限のいずれかにおける4つの信号点をもつQAM変調とすることができる。なおこれらの場合に比較器241, 242の出力が負の時は、その絶対値が3でデータ0に、1でデータ1に変換する。

[実施例2-8]

この第2実施形態の実施例2-8は各相の光周波数特性関数の光を出力する複数の光源を用いる。この実施例2-8を適用した光送信装置100を $L=4S$ の場合について図45を参照して説明する。この実施例2-8は光周波数軸上で FSR/n 、ここでは $n=1$ としてFSRを1周期とし、各周期における $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ の位相シフト量のそれぞれで2Sチップの光周波数の光を出力する複数の光源を用いて、実施例2-5又は実施例2-6で行ったQPSK又はQAM変調を可能とするものである。

[0106] 図45に示した例では各Sチップの光周波数の光源を二組ずつ使い、各光源は、光の送出強度を制御できるものであり、合計 $L/2S$ の2倍の L/S 組(各組は光周波数幅2Sの単一の広帯域光源また2S個の光源からなる光源の組)の光源を備える。

L/S 組の光源の内、各Sチップの光周波数を送出する $L/2S$ 組の光源は、位相0又は位相 π の搬送波を模擬するために用いる。即ち、図46に0相、 $\pi/2$ 相、 π 相、 $3\pi/2$ 相の各Sチップの出力光を示すように、光周波数軸上の各周期の最初の連続する光周波数の各Sチップ、つまり0相Sチップを出力する光源120aと、次のSチップ、つまり $\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120bとの出力光により、0相搬送波を模擬し、その次のSチップ、つまり π 相Sチップを出力する光源120cと、その次のSチップ、つまり $3\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120dとの出力光により、 π 相搬送波を模擬する。また残りの $L/2S$ 個の光源により $\pi/2$ 相搬送波又は $3\pi/2$ 相搬送波を模擬するために用いる。即ち、光周波数軸上の各周期の初めのSチップの次のSチップつまり $\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120eと、その次のSチップ、つまり π 相Sチップを出力する光源120fとの出力光により $\pi/2$ 相搬送波を模擬し、その次のSチップ、つまり $3\pi/2$ 相Sチップを出力する光源120gと、その次のSチップ、つまり0相

Sチップを出力する光源120hとの出力光により $3\pi/2$ 相搬送波を模擬する。これら0相、 $\pi/2$ 相、 π 相、 $3\pi/2$ 相の各搬送波光はそれぞれ図43(a)中の $P=0$, $P=1$, $P=2$, $P=3$ の各透過光と対応する。

[0107] 以上 $n=1$ の例にて説明したが、 n が2以上の整数である場合は、光周波数の順でその n に対応する S の値でSチップずつ0位相チップ光源、 $\pi/2$ 位相光源、 π 位相光源、 $3\pi/2$ 位相光源に配置すればよい。用い得る n は、使用する光周波数帯FSRを n で除した1周期に相当するチップ数 L との関係で定まる。 $FSR=24$, $n=2$, $L=24/2=12$, $S=12/4=3$ の場合、0位相、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ 相の各相の擬似搬送波光は図43(b)の $P=0$, $P=1$, $P=2$, $P=3$ の各透過光と同様になる。 L は位相シフトの数 M の対応する4の倍数であり、 S の値は、 L を位相シフトの数 M 即ち4で除した値である($L=4S$)。 L チップ毎に、位相シフト量の番号 P ($P=0, 1, 2, 3$)に S を乗じた PS に1から $L/2$ を加えた値の L に関する剰余に相当するチップに相当する光源を1とし、それ以外のチップに相当する光源を0とすることを少なくとも n 回繰り返す。即ち A を L で割った余り(剰余)を $MOD(A, L)$ とすると、 $(Q-1)L+MOD(PS+1, L)-(Q-1)L+MOD(PS+L/2, L)$ で Q を1から上記 n まで変化させた番号となるチップに相当する光源(この例では2組)を1とし、残りのチップに相当する光源を0とすればよい。

[0108] 図45は図38(a)に示したQAM変調を模擬する場合で、端子101からの伝送信号(データ)系列は信号位相振幅量変換器113で直並列変換部110cにより4系列に分配される。その各4個のデータの組中の上位から3番目のデータ(ビット)(直並列変換器110c内のデータ配列は図38(a)に示した各データ組についてのビット順と同一とする)により、切替スイッチ153aを制御してそのデータが0であれば値3が格納されたレジスタ(駆動信号発生部)153bを切替スイッチ153dに接続し、そのデータが1であれば値1が格納されたレジスタ(駆動信号発生部)153cを切替スイッチ153dに接続し、このスイッチ153dをデータ組の最上位データ(ビット)により制御し、そのデータが0であれば切替スイッチ153aを0相光源120aと $\pi/2$ 相光源120bとに接続し、これら両光源120aと120bから強度3の光が出力され、つまり0相擬似搬送波の光が強度3で出力され、最上位データ(ビット)が1であれば切替スイッチ153aを π 相光源1

20cと $3\pi/2$ 相光源120dとに接続し、これら両光源120cと120dから強度1の光が出力され、つまり π 相擬似搬送波の光が強度1で出力される。

[0109] データ組中の最下位データ(ビット)により切替スイッチ154aが制御され、そのデータが0であれば値3が格納されたレジスタ154bを切替スイッチ154dに接続し、データが1であれば、値1が格納されたレジスタ154cを切替スイッチ154dに接続し、切替スイッチ154がデータ組の上位から2番目のデータ(ビット)により制御され、そのデータが0であれば切替スイッチ154aを $\pi/2$ 相光源120eと π 相光源120fとに接続し、両光源120eと120fとから強度が3の光が出力され、つまり $\pi/2$ 相擬似搬送波の光が強度3で出力され、データが1であれば、切替スイッチ154aを $3\pi/2$ 相光源120gと0相光源120hとに接続し、これら両光源120gと120hから強度1の光が出力され、つまり $3\pi/2$ 相擬似搬送波の光が強度1で出力される。

[0110] このようにして、実施例2-6で図37を参照して説明した光送信装置100と同様の光QAM変調信号を出力することができることは容易に理解されよう。従って光受信装置200としては図36中に示したものと同様のものとすればよい。この図45に示した光送信装置100では光源を直接変調、例えばレーザ光源の駆動電流の大きさを制御すればよく、実施例2-6で示したろ波器及び変調器よりなる高価な位相振幅変調部150を必要としない。

図45中のスイッチ153aと154aを省略し、レジスタ153b, 154bをそれぞれ切替スイッチ153d, 154dに直接接続し、図6中の信号振幅量変換器112の2個データの組の各データで切替スイッチ153d, 154dを制御することにより、実施例2-3で説明したと同様にQPSK変調を行うことができる。また実施例2-7で説明したと同様に、切替スイッチ153d, 154dを省略して、切替スイッチ153a, 154aを互いに直交関係にある擬似搬送波の光を出力する2組の光源(計4つの光源)にそれぞれ接続して、切替スイッチ153a, 154aを制御することにより、実施例2-7で説明したQAM変調を行うこともできる。なおスイッチ153aと154aを省略した例及びスイッチ153dと154dを省略した例においては直並列変換部110cの代りに図30中の信号位相量変換器110内の直並列変換部110aが用いられる。

[0111] $\pi/2$ 位相シフト量の異なる二つの光源、例えば、0相チップ光源と $\pi/2$ 相チップ

光源の2組の光源を用いてQAM変調を行うこともできる。この場合は図45で説明した実施例のQAM変調よりも、位相が半分に減少しているので、実施例2-7と同様に、図45の実施例の倍の細かさの強度変調とすることにより同じ信号伝送が可能となる。しかも必要とする光源の数が半分でよい効果がある。

実施例2-6で説明した位相シフト数が任意のMであるMPSK変調と同様の変調を、複数光源を用いて行うこともできる。この例をM=4の場合につき図45を参照して説明する。この場合は図45の信号位相振幅量変換器113の代わりに、図30の信号位相量変換器110を用いる。光周波数上でFSR/nを周期とし、各周期における0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の位相シフト量ごとの各2Sチップの光周波数の光を出力する複数の光源を用いる。M=4であるから、各位相シフトに応じた擬似搬送波は図45で説明した実施例と同じであり、信号位相量変換器110の出力に応じて、0シフト量に対応する0相チップ光源と $\pi/2$ 相チップ光源から強度1の光を出力するか、 $\pi/2$ シフト量に対応する $\pi/2$ 相チップ光源と π 相チップ光源から強度1の光を出力するか、 π シフト量に対応する π 相チップ光源と $3\pi/2$ 相チップ光源から強度1の光を出力するか、 $3\pi/2$ シフト量に対応する0相チップ光源と $3\pi/2$ 相チップ光源から強度1の光を出力する。

[0112] このようにして、ろ波器と変調器よりなる高価な位相変調部を用いることなく、MPSK変調を行うことができる。

図45に示した実施例においては1つの擬似搬送波光を出力するため、2個のSチップ光源を用いている。この各2個の光源代りに、2Sチップの1個の光源を用いることができる。しかしこの場合は図45から明らかなように比較的広帯域2Sの光源を4種類用いることになる。しかし図45に示したようにすれば光源の種類数は4であるが、その光周波数幅はSチップであり、2S幅よりも可成り安価に作ることができる。4種類のSチップ光源を用いてQPSK変調を行うこともできる。図45の実施例では位相0又は位相 π の搬送波を模擬するためと、位相 $\pi/2$ 又は位相 $3\pi/2$ の搬送波を模擬する為とで各4n個の搬送波を必要とし、その各相の搬送波に対し各2個のSチップ光源を用い、合計 $2 \times 4n$ 個の光源を用いた。各搬送波を出力する同じ光周波数を出力する2光源の代わりに、各搬送波の1又は0の出力を重ねあわせた強度で光を出力

することで1光源で代用する。つまり、図45に示した場合は各相の搬送波に対し、0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源(各光源はSチップ光であるが、表記を簡単にするために「S」を省略しチップ光源と表わした)の強度1の光を出力させる光源を「1」で、光を出力しない光源を「0」で表わすと各チップ光源の出力は以下である。

[0113] 0相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
 =(1100)

$\pi/2$ 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
 =(0110)

π 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
 =(0011)

$3\pi/2$ 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
 =(1001)

互いに直交関係の2つの搬送波光が出力されるから、これら出力光のうち同相のチップ光源よりの出力光は互いに重ね合わされるから重ね合った光源の出力光は強度が2となる。よって出力光が重ね合わさる光源の出力光の強度を予め2倍にしておけば4種類のSチップ光源を各1個用いて4つの搬送波光を出力することができる。各チップ光源の出力は以下となる。

0相搬送波 + $\pi/2$ 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
 =(1210)

0相搬送波 + $3\pi/2$ 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)
 =(2101)

π 相搬送波 + $\pi/2$ 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)

= (0121)

π 相搬送波 + $3\pi/2$ 相搬送波:

(0相チップ光源、 $\pi/2$ 相チップ光源、 π 相チップ光源、 $3\pi/2$ 相チップ光源)

= (1012)

このようにして光源数を減少させることは前述した複数光源を用いたMPSK変調にも同様に適用可能である。

- [0114] このようにして図45の実施例に比べて半分に光源の数を削減でき、かつ図45の場合より光源数を減らした前記QAM変調よりも強度変調のきざみ幅を大きくすることができ、それだけノイズの影響に強い効果がある。

[実施例2-9]

この実施例2-9は上述した各実施例を含み、擬似搬送波をより一般化したものであり、この例ではQAM変調に適用した場合である。これを適用した通信システムの例を図47を参照して説明する。

- [0115] 光送信装置100に*i*番ろ波器161、*i'* 番ろ波器161' の組と、*j*番ろ波器162、*j'* 番ろ波器162' の組との2組が設けられる。これらろ波器161, 161', 162, 162' は光源120の出力する光の周波数(波長)で少なくともFSRの光周波数幅をろ波する。光周波数を基準光周波数 $f_s (=c/\lambda_s; c$ は光速)からの光周波数差を、つまり基準光周波数で規準化した光周波数(ろ波関数を位相を表わすパラメータともいえる)とした場合に、前記1組中の一方の*i*番ろ波器161のろ波特性関数の位相 f での値 $C_i(f)$ と、*i*番ろ波器161と組となる*i'* 番ろ波器161' のろ波特性関数の位相 f での値 $C_{i'}(f)$ は互いに反転値であり、前記式(4)と同様な関係が成り立つ。

- [0116] $C_i(f) + C_{i'}(f) = 1$ (4)

他の組の*j*番ろ波器162、*j'* 番ろ波器162' もそのろ波特性は同様の関係がある。ろ波器161, 161', 162, 162' の各ろ波特性関数は前述した擬似搬送波を構成する。

この実施例2-9の光受信装置200は図37中の光受信装置200に対し、用いるろ

波器が異なり、その他は同様である。受信対象の光送信装置のi番ろ波器161と同一のろ波特性をもつi番ろ波器271と、i' 番ろ波器161' と同一ろ波特性のi' 番ろ波器271' と、j番ろ波器162、j' 番ろ波器162' をそれぞれ同一ろ波特性のj番ろ波器272、j' 番ろ波器272' が用いられる。

- [0117] この構成においては比較器241ではi番ろ波器271の透過光と対応する検出光強度からi' 番ろ波器271' の透過光と対応した検出光強度とが比較されることとなり比較器241の出力を、規準化光周波数fでの値 $D_i(f)$ を想定すると第1実施形態で示した式(3)となる。

$$D_i(f) = C_i(f) - C_{i'}(f) \quad (3)$$

検出器231ではi番ろ波器271の透過光の各光周波数成分が全体としての光強度として検出される。他の検出器も同様である。従って送信側のi番ろ波器161のろ波特性関数における規準化光周波数fでの値 $C_i(f)$ と、受信側のi番ろ波器271のろ波特性関数における規準化光周波数fでの値 $D_i(f)$ との内積を、i番ろ波器271のろ波対象に含まれるFSR分の連続する光周波数領域にわたり積分した値が零でない有限値Pで、次式(5)' の関係が成り立つ。

$$\int C_i(f) D_i(f) df = P \quad (5)'$$

式(5)は第1実施形態で示した式(5)を一般化したものに相当する。

i番ろ波器のろ波特性関数における位相fでの値 $C_i(f)$ と、i番以外のj番ろ波器のろ波特性関数に対応する比較器の規準化光周波数fでの値 $D_j(f)$ との内積をろ波器のろ波対象に含まれるFSR分の連続する光周波数領域にわたり積分した値が零で、第1実施形態で示した式(6)の関係が成り立つ。

$$\int C_i(f) D_j(f) df = 0 \quad (6)$$

従ってi番ろ波器271の透過光の強度を検出する検出器231の出力からi' 番ろ波器271' の透過光の強度を検出する検出器231' を減じた比較器の出力中にはj番ろ波器162を透過した光成分は含まれない。このようにして、この実施例2-9は、実施例2-4と同様に、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができる。

- [0119] 更に、i番ろ波器161のろ波特性関数は、光周波数を変数とする周期関数であって

、その周期における規準化光周波数 f で透過率(値) $C_i(f)$ が $FSR_i(=FSR/n=\Lambda)$ の周期で繰り返し、第1実施形態で示した式(1)の関係が成り立つようにすることが好ましい。

$$C_i(f) = C_i(f + FSR_i) \quad (1)$$

このようにすると、光源毎の光周波数の違い及び基準光周波数 f_s の違いによらず、受信側で受信対象外の他の擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができる。このようにしてこの実施例2-9は、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのQAMを実現する。実施例2-1〜2-4, 2-7で用いた三角関数の擬似搬送波、また実施例2-5〜2-8で用いたチップ構成の擬似搬送波も前記式(1), (3)〜(5)' が成立することは理解されよう。なお、チップ構成の場合は $\int d\theta$ を Σ におきかえた式が成立する。更にろ波器のろ波対象の光周波数における任意の f から $f + FSR$ までの区間の積分値が FSR を2で除した値となり、第1実施形態で示した式(2)も成立つことは理解されよう。

$$[0120] \quad \int C_i(f) df = FSR/2 \quad (2)$$

実施例2-1〜2-8における0相、 π 相擬似搬送波はそれぞれ実施例2-9の i 番, i' 番擬似搬送波と対応し、 $\pi/2$ 相、 $3\pi/2$ 相擬似搬送波はそれぞれ実施例2-9の j 番, j' 番擬似搬送波と対応している。つまりこの実施例2-9がこの発明において擬似搬送波の一般的特性を示したものであり、その他の実施例は実施例2-9を特化したものともいえる。

[実施例2-10]

チップ構成の擬似搬送波を用いる場合の他の例を説明する。図47中のろ波器161', 162' を省略し、信号位相振幅量変換器111の代りに括弧書きで示すように信号振幅量変換器112を用いる。その他の構成は同様であるがろ波器161, 162のろ波特性を次のようにする。

[0121] 光源の光を受けて、光送信装置の具備する i 番ろ波器161がろ波対象とする FSR/n ($n=1$ 以上の整数)の光周波数領域で、その光送信装置の具備する i 番ろ波器161と、 i 番以外のその光送信装置又は同一伝送路を共有する他の光送信装置の具備する j 番ろ波器162とがろ波対象とする FSR の光周波数領域で同時にオン(透過)

となるチップの数と、光送信装置の具備するi番ろ波器161がろ波対象とするFSRの光周波数領域でオン(透過)となり、i番以外のその光送信装置又は同一伝送路を共有する他の光送信装置の具備するj番ろ波器162がろ波対象とするFSRの光周波数領域でオフ(非透過)となるチップの数とが同一である。つまりi番ろ波器161とj番ろ波器162とで同時(同一チップ位置)でオン(透過)となるチップ数と、同一チップ位置でi番ろ波器161でオンになり、j番ろ波器162でオフとなるチップ数とが同一となる。

- [0122] 従って、基準波長(基準周波数)からの波長差(周波数差)に相当する位相 Θ のチップでのi番搬送波の値を $C_i(\Theta)$ 、 $\Theta = 2\pi f$ とすると、 $C_i(\Theta) = C_i(\Theta + \text{FSR}/n)$ であり、 $C_i'(\Theta) = 1 - C_i(\Theta)$ とすると、 $\sum C_i(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i'(\Theta))$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h=0$ から $\text{FSR}/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)が有限値であり、i番搬送波以外のk番搬送波(kはi以外の擬似搬送波の番号)を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_k(\Theta)$ とすると、 $\sum C_k(\Theta) (C_i(\Theta) - C_i'(\Theta)) = 0$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h=0$ から $\text{FSR}/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)の関係が成り立ち、j番搬送波を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_j(\Theta)$ とすると、 $C_j(\Theta) = C_j(\Theta + \text{FSR}/n)$ であり、 $C_j'(\Theta) = 1 - C_j(\Theta)$ とすると、 $\sum C_j(\Theta) (C_j(\Theta) - C_j'(\Theta))$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h=0$ から $\text{FSR}/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)が有限値であり、j番搬送波以外のm番搬送波(mはj以外の擬似搬送波の番号)を表わす関数の位相 Θ における強度を $C_m(\Theta)$ とすると、 $\sum C_m(\Theta) (C_j(\Theta) - C_j'(\Theta)) = 0$ (\sum は $\Theta = h \delta \Theta$ として、 $h=0$ から $\text{FSR}/\delta \Theta - 1$ まで加えた区間FSRの総和)が成り立つ。

- [0123] 光受信装置200は実施例2-7で説明したものと同様のものとする。このようにしてQAMを実現することができる。この実施例2-10に示すものも、前式(1)〜(4)にて $\int d\Theta$ を \sum に変更した式が成立する。この実施例で用いるろ波器として、例えば FSR/n に相当するチップ数をアダマール符号の符号長で除した数のチップをアダマール符号を構成する1ビットの値に合わせて透過率1/透過率0としたろ波器が適用できる。更に、アダマール符号を連続して結合した符号に対応してFSR以上の光周波数をろ波するろ波器を適用する場合、任意のFSRの光周波数の領域で前式(1)〜(5)にて $\int d\Theta$ を \sum に変更した式が成立する。

[0124] この実施例2-10で別の符号を用いた具体例を以下に説明する。ろ波器のオンのチップを1としオフのチップを0とした系列がLを符号長(周期長)とする最長系列の系列に相当する。例えばL=3の場合であれば、1番ろ波器161の系列を(101)とすることができる。この場合、他のろ波器(2番及び3番ろ波器)は、1番ろ波器161の系列をシフトした系列である(011), (110)とすることができる。

光受信装置200では、受信対象の送信側のi番ろ波器161のろ波対象の光周波数に含まれるオンのチップの光を透過するi番ろ波器271と、i番ろ波器161のろ波対象の光周波数に含まれるオフのチップの光を透過するi' 番ろ波器271' と、各第1のろ波器(271, 272)の透過光強度を検出する第1の検出器群(231, 232)と、各第2のろ波器(271' , 272')の透過光強度を検出する第2の検出器群(233, 234)と、第1の検出器が検出した強度から第2の検出器の検出した強度を減じて比較する比較器群(241, 242)と、比較器群の出力する対応する送信局の変調器が変調した振幅の組合せから伝送信号に変換する振幅信号変換器(260)とを具備する。

[0125] 動作の例として、i番ろ波器161を具備する送信装置による信号(101)に対応する受信装置により受信した場合の比較器強度と、j番ろ波器162に対応する信号(011)を受信した場合の比較器強度を考える。i番ろ波器161に対応する受信装置のオンのチップの光を透過するi番ろ波器271の透過光強度を検出する検出器231の出力は信号(101)中の2チップ分であり、ろ波特性が(010)であるi' 番ろ波器271' を信号(101)が透過するチップは0であり、j' 番ろ波器272' の透過光強度を検出する検出器233の出力は0であり、検出器231が検出した強度から検出器233の検出した強度を減じて比較する比較器241の出力は2チップ分となる。

[0126] 送信側のj番ろ波器162に対応する信号光(011)を選出するためのj番ろ波器272を、受信光(101)が透過するのは1チップだけであり、j番ろ波器272の透過光強度を検出する検出器232の出力は1チップ分であり、信号光(011)のオフのチップの光を選出するためのj' 番ろ波器272' の透過光強度を検出する検出器234の出力は、受信光(101)に対しては1チップ分であり、検出器232が検出した強度から検出器234の検出した強度を減じて比較する比較器242の出力は0チップ分となる。

[0127] 以上示したようにこの実施例も、実施例2-7と同様に、受信側で受信対象外の他の

擬似搬送波の入力を差動検出によりキャンセルすることができ、光の波長オーダの制御精度を緩和した制御精度でのQAMを実現することができる。なお 従来の光信号の位相を制御する光通信方法においては、 μ メートルオーダの波長と比べて十分正確なオーダである数十分の1の数ナノメートルオーダの精度で単一波長(周波数)の光信号の位相を制御する必要があり、現在ではその実験的には実現可能であるが、経済的に見合ったものを実現することは困難であり、いまの所、QPSK, QAMなどの位相変調を行う光通信システムは実用化されていない。

- [0128] しかしこの第2実施形態によれば、周波数領域での光搬送波に対し、MPSKやQAMを比較的簡単に行うことができる。

この実施例2-10に示すものも、所定のFSRの区間で前記式(1)～(4)にて $\int d\Theta$ を Σ に変更した式が成立することは理解されよう。従って、擬似搬送波をFSRの領域で強度1のチップと強度0のチップとの方形波状周期関数とし、前記i番ろ波器161、271j番ろ波器162、272のろ波特性と対応するi番搬送波、j番搬送波は、同一光周波数位置で共に強度1(又は強度0)となるチップ数と、同一光周波数位置でj番搬送波が強度1(又は強度0)でj番搬送波が強度0(又は強度1)となるチップ数とが等しいものとなる。更に実施例2-8で示したチップごとの光源を用いる場合にも、この方形波状周期関数を適用することができる。

- [0129] 上述した各種実施例においてQAM変調を行う場合は第3、第4パラメータによりそれぞれ強度1又は3のいずれかを選択し、1, 0の4個のデータの組み合わせ、つまり16通りの組み合わせのいずれかを表わしたが、17通り以上の組み合わせのいずれかを表わすようにしてもよい。つまり光送信装置では表わしたい1, 0のデータの組み合わせ数に応じて、あらかじめ決めた多値のいずれかの1つの値の光強度に、i番(又はi' 番)、j番(又はj' 番)搬送波と対応する光がなるように第3、第4パラメータにより選択制御すればよい。光受信装置では、図37-2中の上記A/D変換器261、262よりの各極性を含めたあらかじめ決めた多値のいずれか1つのデジタル値の各取り得る組み合わせと対応した4個以上のデータ0又はデータ1の取り得る組み合わせ中の対応する1つを符号信号変換器260から出力させればよい。

- [0130] 前記A/D変換器263、264よりのあらかじめ決めた多値のいずれかの1つのディ

デジタル値とは、その極性を加味する場合と、加味しない場合とがあり、加味しない場合は、例えば実施例2-7中で述べたように、図38(a)中の1つの象限、例えば第1象限のみの信号点を用いる場合であり、符号信号変換器260の出力としては2つのデータの取り得る組み合わせの1つに変換されることになり、従ってA/D変換器263、264の出力デジタル値として極性を加味する場合は4個以上のデータの取り得る組み合わせとなり、極性を加味する場合は、2個以上のデータの組み合わせとなる。従って一般には多値のいずれかの1つの値で、2個以上のデータの組み合わせといえる。

[実施例2-11]

この発明の実施例2-11を適用した通信システムを図48-1及び図48-2に示す。光送信装置100には、図48-1に示すように実施例2-3で説明した図35中の光送信装置100がK個(Kは2以上の整数) $100_1, \dots, 100_K$ として並列に收容され、入力端子101よりの伝送信号(データ系列)を直並列変換器170でK個の並列系列に変換して光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ の各信号位相量変換器110へ入力する。光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ より各出力は合波器171で合波され光伝送路300へ出力される。

- [0131] 光受信装置200では、図48-2に示すように実施例2-3に用いる光受信装置、つまり図30中の光受信装置200がK個 $200_1, \dots, 200_K$ として並列に收容され、光伝送路300よりの光信号は分岐器270でK分岐され、分岐された各光信号は光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ の分岐器210にそれぞれ入力される。光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ の出力信号は並直列変換器273で直列変換されて元の伝送信号に戻される。

光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ と光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ は実施例2-3で示したように、相互干渉することなく送受信する。

- [0132] ここで、光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ 、光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ は、所定の周期を基準周期とした場合に、ろ波器のろ波特性関数に含まれる三角関数の周期が前記基準周期を自然数で除した周期となるろ波器を用いる。即ち、前記基準周期と各光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ が備えるろ波器の周期はフーリエ変換の生成する基本周期と倍周期の組に対応する。例えば、FSRを除する数Nの値を1からKとし、これらFSR, FSR/2, \dots , FSR/Kをそれぞれ光送信装置 $100_1, 100_2, \dots, 100_K$

の光信号が合波器171で合波された光信号は逆離散フーリエ変換された信号と等価になる。

- [0133] 光受信装置200に用いるろ波器のろ波特性関数の周期とする。このような関係では受信光信号が分岐されて光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ により離散フーリエ変換されて元の伝送信号に戻されたと同等の作用をすることになる。

このようにして、この実施例2-11は、擬似搬送波同士の直交関係を用いて、離散逆フーリエ変換に対応する複数擬似搬送波を用いて擬似OFDM(直交周波数分割多重)を実現することができる。光送信装置100が基本周期から基本周期の $K/2$ 倍の周期までの周期で、その各周期毎に位相が $\pi/2$ ずれたろ波特性のろ波器を具備する光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ を用いた場合、各光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ において $\pi/2$ 位相がずれたろ波特性の一方がコサイン関数とすると他方はサイン関数となり、光送信装置100の出力は $\Sigma (a_n \cos((n/FSR)\Theta) + b_n \sin((n/FSR)\Theta))$ で表せる。ここで、 n は基本周期に対するろ波器周期の倍数の値、 a_n と b_n はそれぞれの擬似搬送波で搬送する伝送信号である。

- [0134] なお、基本周期を含む任意の周期 n に対応する光送信装置 $100n$ 及び光受信装置 $200n$ を備えない場合も、該当する a_n 又は b_n の値が0であることに対応し、光送信装置100の出力の式が成り立ち、この実施例の一般性を損なわない。

この実施例は通常のWDM(波長分割多重)と異なり用いる波長同士を重ねることができるので、通常のWDMと比べてガードバンドが不要であるため、波長利用効率を向上できる効果がある。

なお、図48-1において光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ の光源120を単一の光源で共用してもよい。また、この実施例2-11では擬似QPSKを適用した光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ を複数用いたが、前述した擬似MPSKあるいは擬似QAMを適用した光送信装置を複数用いてもよい。更にろ波特性関数としては三角関数のみならず、実施例2-9で説明した性質をもつ関数であってもよい。従って実施例2-5-2-8で説明したチップ構成の擬似搬送波を用いる光送信装置100、光受信装置200を複数用いてもよい。この場合は、 $L/4$ の所定の約数である S を基準の S とした場合に、その基準の S の約数に相当する S を用いたろ波特性をもつろ波器を具備する光送信

装置 $100_1, \dots, 100_K$ 、光受信装置 $200_1, \dots, 200_K$ を用いる。即ち、基準のSと各光送信装置 $100_1, \dots, 100_K$ のろ波器のろ波特性のSは、フーリエ変換により生成される基本周期と倍周期の組に対応する。このようにして、この実施例11の光送信装置100も逆離散フーリエ変換した信号を送出し、光受信装置200は離散フーリエ変換して元の伝送信号に戻すものとなる。

- [0135] 上述した各実施例における光送信装置100に用いられるろ波器は、何れも図33を参照して説明したように、ろ波器のろ波特性を変調器の出力により制御するようにしたものでもよく、固定的に設定されたろ波特性をもつ複数のろ波器を選択する構成であつてもよい。従つてろ波器を変調器により制御するということはろ波特性を制御する場合と、ろ波器の選択を制御する場合とを意味するものである。

信号位相量変換器110、信号位相振幅量変換器111及び信号振幅量変換器112は信号データに応じて、ろ波特性の制御やろ波器の選択制御、光送信装置から出力される光の強度を制御するためのパラメータに変換するものであるから、これらを総称して信号変調値変換器といふことができ、これらから出力される位相量、振幅量などは変調値といえ、かつその各成分はパラメータと呼ぶことができる。

- [0136] 以上のように、光周波数軸上の周期関数により、MPSK, QAMなどを行う第2実施形態は先にも一般的な構成を説明したが次のようにも説明できる。1又は複数の光源により光周波数 F_{st} から F_{la} までの間における、光周波数幅FSRの範囲で、 i 番目の光周波数特性関数 $C_i(f)$ が、その繰り返し周期に対応する整数 N_i で最小公倍数の光周波数幅FSRを除した値を光周波数幅 FSR_i とすると、

$$C_i(f) = C_i(f + FSR_i) \text{ であり、}$$

$$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df \text{ であり、}$$

i 番目以外の j 番目の光周波数特性関数 $C_j(f)$ に対し、

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) (1 - C_j(f)) df \text{ であり、}$$

$C_i(f)$ FSR以下の任意の光周波数幅を、 $C_i(f)$ の周期 FSR_i で割算した余りを Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f / FSR_i)$ を $C_i(f)$ に対する位相差とすると、

$$C_i'(f) = C_i(f + \Delta f) \text{ であり、}$$

つまり $C_i'(f)$ は $C_i(f)$ に対し、位相が $2\pi(\Delta f / FSR_i)$ 異なるものであり、

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{であり、}$$

入力2値データ系列を、各データごとに複数の分離データ系列に順次繰り返し振分けて分離し、これら分離された各分離データ系列ごとに、かつその各データごとにその値に応じて上記i番目の光周波数特性関数の第i光信号及び上記j番目の光周波数特性関数の第j光信号に対し、位相又は／及び振幅を制御した第1光信号及び第2光信号を合成し光符号信号として送信する。

- [0137] 光周波数特性関数 $C_i(f)$ の例としては異なるFSR i が同一のFSRで Δf がFSR $i/4$ 又は $-FSR_i/4$ の三角関数である。

他の例としては、任意の整数 S と N_i の積の2倍 $2SN_i$ でFSRを割算した値 L の連続する光周波数部分にFSRを分割し、その各長さ L の光周波数部分を連続する S 個の光周波数を強度1と、それに続く S 個の光周波数を強度0とすることを N_i 回繰り返す関数、あるいは強度1の連続する S 個の光周波数の位置を所定量順次移動させた関数を $C_i(f)$ とする。

- [0138] この第3実施形態も、図2(a)、図2(b)、図3(a)、図3(b)に示した1対N光通信網PONに対して適用できる。また第1実施形態において、図15や図28を参照して説明した単一プレーナ光波回路基板にi番目の符号器がj番目の復号器のいずれかの透過光を用いるプレーナ光波回路基板に対する温度制御技術も第3実施形態に適用できる。更に第1実施形態において、図21、図22を参照して説明したアレー導波路格子形光合分波器AWGを用いる光符号化方法を、第3実施形態の光送信装置に適用することもできる。

[第3実施形態](反射型光通信)

この発明の第3実施形態は複数の加入者装置を光ファイバ伝送系を介して、中央局に収容する1対多接続光網(Passive Optical Network: PON)、例えば図2又は図3に示した光通信システムにこの発明を適用したものである。

[実施例3-1]

この第3実施形態の基本概念の機能構成を図49を参照して説明する。2値データに応じて変調(符号化)された下り信号光が、光ファイバ410を通じ、更に光入出力ポート412を介して光入出力共用器420のポート420aに入力され、光入出力共用器4

20のポート420bより切替器430に入力される。切替器430は、端子431よりの上りデータ系列により制御され、下り信号光はマーク符号器440Mあるいはスペース符号器440Sに入力される。マーク符号器440M及びスペース符号器440Sの出力光は光合成器450を通じて光入出力共用器420のポート420cに入力され、光入出力共用器420のポート420aより上り信号光として光入出力ポート412を介して光ファイバ410へ出力される。光入出力共用器420として図49では破線で示すように光サーキュレータを用いているが、光方向性結合器、光合分波器などを用いてもよい。しかし、反射光とのコヒーレントクロストークにより上り信号光の強度変調を避けるため、また光損失を少なくするために光入出力共用器420としては光サーキュレータが好ましい。光合成器450は光合分波器あるいは切替器430と破線で示すように連動制御される切替器などを用いることができ、要はマーク符号器440Mの出力光と、スペース符号器440Sの出力光とを光入出力共用器420のポート420cへ入力するものであればよい。切替器430は端子431よりのデータがマークであれば入力された光をマーク符号器440Mに入力し、スペースであればスペース符号器440Sに入力する。光合成器450として入力端子431のデータにより制御される切替器を用いる場合は切替器430は光分岐器としてもよい。

[0139] マーク符号器440M及びスペース符号器440Sは下り信号光の光周波数(波長)の全区間において、光周波数(波長)を変数とする互いに異なる関数で表わされる信号光を出力し、例えば光ろ波器として構成される。入力する下り信号光と出力する上り信号光の光周波数特性(光符号)は次に示す関係をもつ関数である。

下り信号光がマークであるときの光周波数 f に対する光強度の関数を $IM(f)$ 、スペースであるときの関数を $IS(f)$ 、上り信号光がマークであるときの光周波数 f に対する光強度の関数を $OM(f)$ 、スペースであるときの関数を $OS(f)$ とそれぞれする。関数 $IM(f)$ と関数 $OM(f)$ との積の f に関する積分又は総和と、関数 $IM(f)$ と関数を $OS(f)$ の積の f に関する積分又は総和とが等しく、かつ、関数 $IS(f)$ と関数を $OM(f)$ の積の f に関する積分又は総和と、関数 $IS(f)$ と関数を $OS(f)$ の積の f に関する積分又は総和とが等しい。即ち次に示す(22)式と(23)式のいずれかと(24)式と(25)式のいずれかとなる関係にある。

$$[0140] \quad \int IM(f) OM(f) df = \int IM(f) OS(f) df \quad (22)$$

$$\Sigma IM(f) OM(f) = \Sigma IM(f) OS(f) \quad (23)$$

$$\int IS(f) OM(f) df = \int IS(f) OS(f) df \quad (24)$$

$$\Sigma IS(f) OM(f) = \Sigma IS(f) OS(f) \quad (25)$$

ここで、 $\int df$ は下り信号の光周波数の区間での積分を、 Σ は下り信号の光周波数の区間での総和を意味する。式(22)、式(24)はデジタル演算により求める場合はそれぞれ式(23)、式(25)と同様な演算を行うことになる。

[0141] これらの関係はマーク関数の光強度とスペース関数の光強度が互いに等しく、かつマーク又はスペースの下り信号光を構成する周波数成分の光の半分に相当する成分をマーク又はスペースの上り信号光として構成することができることを表している。従ってこの光通信装置は、下り信号光の変調度を下げることなく、下り信号光がマークでもスペースでも、同一の光パワーで変調した上り信号光を出力することが出来る。

前記関数の例としては図6に示したものをを用いることができる。図6(a)～(c)は三角関数の例であり、同一振幅であり、光周波数区間 $f_0 \sim f_L$ を光基準周波数 $f_0 = f_s$ で規格化して光周波数0～1において、光周波数の強度変動周波数が1, 2, 3の場合でそれぞれ位相が $\pi/2$ ずれた実線と破線あるいは、図6(a)中に示すように実線に対し、 $\pi/4$ 程度ずれた1点鎖線などの中の1つをマークの関数とし、これに対し π ずれた関数をスペースの関数とし、異なる方向又は異なる光通信装置に対するものは図6中に示す関係をもつ他の関数をマーク関数とし、これと位相が π 異なる関数をスペース関数とする。あるいは図50に示すように周波数区間 $f_0 \sim f_L$ (規格化周波数0～1)をL分割したL個のチップ(光周波数)とし、チップごとに光強度を1又は0とし、図50(a)に示す関数を例えばマークの関数とする時、スペースの関数は例えば図50(b)に示すように、強度が1のチップ数は同一であり、かつ下り信号光のマーク又はスペース関数の強度1のチップの半分を上り信号光に用いることができる。図50(b)はその前半は図50(a)の前半と同一であり、後半は図50(a)の後半を反転したものとなっている。各チップの例として光強度を三角形にて図示したが、理想的には光周波数特性が各チップでフラットな矩形がのぞましい。

[0142] マーク又はスペース符号器440M又は440Sの周波関数として、三角関数を用いる

場合の符号器としては例えば図7に示した光路長が異なる2組の方路41, 42とこれら両端にそれぞれ結合したカプラ43, 44とからなるマッハツエンダ干渉計を用いることができる。マーク又はスペース符号器440M又は440Sのろ波関数として図50に示したようなチップ列を構成する場合の符号器の構成例を図51に示す。入力光は光合分波器5に入力され、光合分波器5は各チップの周波数光信号を異なるポートに出力し、かつ光周波数 ΔF の整数倍離れた光成分を同一ポートに出力する。例えば符号器440M又は440Sの出力光が4つのチップごとに同一パターンを繰り返す場合、光合分波器5のポート1, 2, 3, 4から光周波数 $F_1 + q \Delta F$, $F_2 + q \Delta F$, $F_3 + q \Delta F$, $F_4 + q \Delta F$ ($q=0, 1, 2, \dots$)の各成分がそれぞれ出力される。これらのうち強度1のチップと対応するポートの出力をカプラ6で合波して出力すればよい。このような光合分波器5としては、図21中のろ波器84と同様にAWG (Array Waveguide Grating: アレー導波路格子形光合分波器)を用いることができる。

[0143] 切替器430は端子431よりのデータがマークであれば入力された光をマーク符号器440Mに入力し、スペースであればスペース符号器440Sに入力する。光合成器450として入力端子431のデータにより制御される切替器を用いる場合は切替器430は光分岐器としてもよい。上り信号光と下り信号光が異なる光ファイバにより伝送されてもよい。例えば図49中に破線で示すように光合成器450より出力される上り信号光を光ファイバ411に入力し、光入出力共用器420を省略してもよい。あるいは図52に示すように、マーク符号器440M及びスペース符号器440Sの各出力光をそれぞれ全反射する全反射器451M及び451Sを設け、マーク符号器440M及びスペース符号器440Sの各出力光がそれぞれマーク符号器440M及びスペース符号器440Sを通り、更に切替器430を通して光ファイバ410に入力されるようにしてもよい。

[0144] 図52に示した装置は図49に示したものと比べ、光入出力共用器420を省略でき、しかも光合成器450を削減して部品点数を更に削減することが出来、図49に示したもので切替器と切替器の組合せを用いる場合に比べれば、変調のために操作する部品が減少する効果があり、また図49で二組の切替器の替わりに、切替器と光合波器の組合せを用いる場合と比べれば、光合波器による光損失がなくなる効果がある。

また、図49及び図52では、下り信号光の受信回路について示していないが、切替

器430よりも前段で下り信号光の一部を下り信号光の受信回路に分岐して下りデータ系列を復号するようにしてもよい。これと同様な受信復号については後で例えば図53を参照して述べる。なお第3実施形態では光源は下り信号光(光符号信号)を生成する相手光送信装置であり、この下り信号光は光源よりの光信号である。

[0145] 以上述べたように本実施例は、互いに光強度が等しいマーク又はスペースで符号化された光を受信し、受信したマーク又はスペースの下り信号光を構成する光周波数に含まれる半分の光周波数をマーク又はスペースの上り信号光として送り返す。このため、下り信号光とは別に、上り信号光として変調するための無変調のCW光を送ったり、下り信号の消光比を悪くすることなく、上り信号光として変調する光を供給することが出来る。

文献3に示す装置では、中央局はその局自身の情報(データ)を送る下り信号光とは別に、収容局がその局自身の情報(データ)で変調した上り信号光として返してもらうために無変調の連続光(CW:Continuous Wave)を返送用に下り方向に送信する。このため、その返送用の下り信号光は中央局からの情報伝送に活用されていない。また、文献4に示す装置では、中央局はその局自身の情報(データ)を送る下り信号光の消光比をわざわざ悪くして送り、その光信号を収容局はその局自身の情報(データ)で変調して上り信号光として送り返し、無駄な連続光を用いていない。しかし中央局からの下り信号光および収容局からの上り信号光とも消光比が悪くなり、通信品質が悪くなる問題があった。

[0146] しかしこの第3実施形態によれば、無変調光を伝送する必要がなく、しかも下り信号光の消光比を悪くすることなく、上り信号光を変調することができる。なお、この第3実施形態では符号器は符号化関数に基づいて光信号に対してその光強度周波数特性が、下り光信号の光強度周波数特性に符号化関数の光強度周波数特性を乗じた光強度周波数特性となるように変調を行う符号化手段であり、復号器は復号化関数に基づいて、光信号から光強度周波数特性が復号化関数である成分を出力する復号化手段である。

[実施例3-2]

この実施例3-2は各光周波数特性関数を互いに直交的とし、かつチップ符号とす

る例である。図53を参照して実施例3-2を説明する。光ファイバ410よりの下り信号光は、光入出力ポート412より光入出力共用器420を通じ更に光分岐器421と422を順次通じて下りマーク復号器461Mと下りスペース復号器461Sに分岐入力され、これらの復号器461M及び461Sをそれぞれ通過した光は光検出器470M及び470Sにより電気信号に変換され、これら電気信号は比較器480で比較され、例えば差分がとられ、その大きさが所定値以上であれば下りデータ系列として出力端子481に出力される。

- [0147] 第1の光分岐器421で分岐された他方の下り信号光は切替器430に入力され、図49に示したと同様に、入力端子431よりの上りデータ系列により変調されて上り信号光として光入出力共用器420を介し、更に光入出力ポート412より光ファイバ410に出力される。光合成器450として端子431のデータにより制御される切替器を用いる場合は切替器430の代りに光分岐器を用いてもよい。

この実施例3-1ではマークの上り信号光からスペースの上り信号光を引いたものとマークあるいはスペースの下り信号光との光周波数についての積分又は総和が零となり、つまりこれらの光周波数特性関数は互いに擬似的に直交とされる。更に詳しく述べると、下り信号光は、マーク又はスペースの何れか一方の光周波数関数と同一の光周波数特性をもつ自然数NI組の入力光であり、i番目のマークの光強度の関数を $IM_i(f)$ 、スペースの光強度の関数を $IS_i(f)$ とすると、NI組に含まれるi番目の下り信号光とi番以外のj番目の下り信号光との関係が次に示す(26)式又は(27)式を満たす。

$$[0148] \quad \int IM_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) df = \int IS_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) df = \int IM_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = \int IS_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = 0 \quad (26)$$

$$\sum IM_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) = \sum IS_i(f) (IM_j(f) - IS_j(f)) = \sum IM_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) = \sum IS_j(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) = 0 \quad (27)$$

かつ、NI組に含まれるi番目の下り信号光とi番目の上り信号との関係は次に示す(28)式又は(29)式を満たす。

$$[0149] \quad \int IM_i(f) (OM_i(f) - OS_i(f)) df = \int IS_i(f) (OM_i(f) - OS_i(f)) df = \int OM_i(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = \int OS_i(f) (IM_i(f) - IS_i(f)) df = 0 \quad (28)$$

$$\sum \text{IMi}(f) (\text{OMi}(f) - \text{OSi}(f)) = \sum \text{ISi}(f) (\text{OMi}(f) - \text{OSi}(f)) = \sum \text{OMi}(f) (\text{IMi}(f) - \text{ISi}(f)) = \sum \text{OSi}(f) (\text{IMi}(f) - \text{ISi}(f)) = 0 \quad (29)$$

∫ は下り信号の光周波数区間での積分、Σ は下り信号の光周波数区間での総和である。なお同一の光通信装置で検出すべき下り信号光と、出力すべき上り信号光とは異なる関数とされる。なお式(26)、式(28)はデジタル演算により求める時はそれぞれ式(27)、式(29)と同様な演算を行うことになる。

[0150] このような特性を有する関数として、例えば、図10に示したアダマール符号を用いることができる。信号光の光周波数特性関数は、ろ波関数とする場合マークで0となる光周波数チップを透過し、1となる光周波数チップを不透過とすると、スペースでは1となる光周波数チップを透過し、0となる光周波数チップを不透過とする。つまり同一符号の場合マーク信号光とスペース信号光で光強度1と光強度0とが反転する。符号2[0101]、符号3[0011]、符号4[0110]は、式(22)～(29)を満たす。例えば符号2[0101]の信号光を生成するには図51に示すように光合分波器5の光波長(光周波数) λ_2 と λ_4 を出力するポートをカプラ6と接続し、また光波長(光周波数) λ_1 と λ_3 を出力するポートを破線で示すようにカプラ6' と接続し、マークかスペースかにより、カプラ6と6' の出力を光合成器としての切替器450を切替えて出力すればよい。

[0151] このような符号であるから受信しようとする符号が例えばi番目であり、これ以外の例えばj番目の信号光が入力した場合、下りマーク復号器461M及び下りスペース復号器461Sの各ろ波特性関数はIMi(f) 及びISi(f) であり、入力光の光周波数関数はIMj(f) 又はISj(f) であり、式(26)又は式(27)が成立し、復号器461M及び461Sを経由して検出された光強度はその差が比較器480で相殺されるため受信しようとするi番目の信号光以外の信号光は出力端子481に出力されない。またこの上りマーク符号器441M及び上りスペース符号器441Sの各ろ波特性関数はOMi(f) 及びOSi(f) であり、この上り信号が光伝送路上で反射が生じ、その反射光が下りマーク復号器461M及び下りスペース復号器461Sに入力されても、式(28)又は式(29)が成り立ち光検出器470M及び470Sの各検出光強度は比較器480で相殺され、出力端子481には現われない。つまり、反射光があったとしても、所望の符号の信号光の受

信の障害とならない。

[0152] このような特性をもつ他の関数として、下り信号光の光周波数区間 $f_0 \sim f_L$ (規格化光周波数 $0 \sim 1$)を例えば図54(a)に示すように $L=4s$ 分割し、 i 番目マークの関数 $M_i(f)$ は最初の s チップを透過(光強度1)、次の s チップを不透過(光強度0)とすることを $n=2$ 回繰り返す、 i 番目のスペースの関数 $S_i(f)$ は最初の s チップを透過(光強度1)、次の s チップを不透過(光強度0)とすることを $n=2$ 回繰り返す。図54(b)に示すように $f_0 \sim f_L$ を $L=6s$ 分割し、 i 番目のマークの関数 $M_i(f)$ は最初の s チップを透過、次の s チップを不透過とすることを $n=3$ 回繰り返す、 i 番目のスペースの関数 $S_i(f)$ は最初の s チップを透過、次の s チップを不透過とすることを $n=3$ 回繰り返す。一般的には光周波数区間の f_0 から f_L を L 分割した L チップの光周波数で示されるろ波特性関数(光強度周波数特性関数)であり、 L を2で割った数が s の倍数とし、 i 番目のマークのときのろ波特性関数を $IM_i(f)$ としスペースのときのろ波特性関数を $IS_i(f)$ とすると、 i 番目のろ波特性関数 $IM_i(f)$ は s チップを透過とし、それに続く s チップを不透過とすることを少なくとも L を $2s$ で除した回数(n 回)繰り返す関数であり、 i 番目のろ波特性関数 $IS_i(f)$ は s チップを不透過とし、それに続く s チップを透過とすることを少なくとも L を s で除した回数(n 回)繰り返す関数である。なお、例示した関数は f_0 から、連続 s チップ透過チップ又は不透過チップが続いているが、図54(c)に $L=6s$ 、 $n=3$ の場合に示すように s に満たない任意の整数 s_0 のチップだけ透過チップ又は不透過チップ続いてから、 s チップを不透過又は透過とし、それに続く s チップを透過又は不透過とすることを、 L を $2s$ で除した数から1引いた数だけ繰り返す、その後 $(s-s_0)$ チップ透過又は不透過とする関数でもよい。つまり前記関係があるもの、例えば図54(b)に示す関数に対し図54(c)のように位相をずらしたものでもよい。前記2次のアダマール行列の符号2は $L=4$ 、 $s=1$ 、 $n=2$ であり、符号3は $L=4$ 、 $s=2$ 、 $n=1$ であり、符号4は符号3を位相 $\pi/4$ だけ左に巡環シフトしたものである。なおこれらの関係は第2実施形態における実施例2-6で示した特性関数と同様であり、例えば $IM_j(f)$ は $C_i(f)$ と、 $IS_i(f)$ は $(1-C_i(f))$ と、 $OM_j(f)$ は $C_j(f)$ と、 $DS_j(f)$ は $(1-C_j(f))$ とそれぞれ対応する。

[0153] これらのろ波特性がこれら関数をもつ符号器441M及び441S、復号器461M及

び461Sも図51に示したような光合分波器5とカプラ6及び6'を用いて同様に構成できることは容易に理解されよう。このような構成の符号器を用いる場合は図53中に1点鎖線で示すように上りマーク符号器441M及び上りスペース符号器441Sは上り符号器441として一体に構成され、切替器430は省略され、光合成器450は切替器とされ、また下りマーク復号器461M及び下りスペース復号器461Sも下り復号器461として一体に構成され、光分岐器422は省略される。

- [0154] 図53に示した実施例3-2においても、図52に示した実施例と同様に上りマーク符号器441M及び上りスペース符号器441Sの後段に全反射器451M及び451Sを用いることで、光入出力共用器420と光合成器450を削減して部品点数を削減することが出来る。また切替器430を光分岐器とし、光合成器450を切替器としてもよい。

図53に示した光通信装置と対向する光通信装置の構成例を図55に示す。光源495からの光周波数 $f_0 \sim f_L$ の光信号は切替器435により、入力端子436からの下りデータ系列の各データのマークかスペースかに応じて下りマーク符号器445M又は下りスペース符号器445Sに入力される。下りマーク符号器445M及び下りスペース符号器445Sのろ波特性関数は対向光通信装置の下りマーク復号器461M及び下りスペース復号器461Sのろ波特性関数 $IM_i(f)$ 及び $IS_i(f)$ と等しくされる。下りマーク符号器445M及び下りスペース符号器445Sよりの下り信号光は光合成器455を通じ、更に光入出力共用器425を通じて光ファイバ410へ入力される。

- [0155] 光ファイバ410より入力された上り信号光は光入出力共用器425を通じて光分岐器426により上りマーク復号器465M及び上りスペース復号器465Sに入力される。これら復号器465M及び465Sのろ波特性は対向光通信装置の上りマーク符号器441M及び上りスペース符号器441Sの各ろ波特性関数 $OM_i(f)$ 及び $OS_i(f)$ と等しくされる。上りマーク復号器465M及び上りスペース復号器465Sの各出力信号光はそれぞれ光検出器475M及び475Sに入力され、光検出器475M及び475Sよりの各出力電気信号が比較器485で比較され、出力端子486に上りデータ系列として出力される。

- [0156] 実施例3-2の光通信装置によればこの下り信号光を出力する光通信装置と上り信号光を出力する光通信装置との複数組により光ファイバ410を共用しても、各組によ

り異なる符号(ろ波特性関数)、つまり前記関係がある光周波数特性関数を用いることにより、組となっている光通信装置以外の光通信装置からの信号光も直交性により、雑音とならず、また組となっている下り信号光と上り信号光とも異なる符号であるため、下り信号光の少なくとも半分の光周波数成分を上り信号光として変調することができる効果もある。この効果は特にITU-T勧告G. 983及びG. 984シリーズに規定されているような1対N接続網である受動光通信網(PON, Passive Optical Network)のような構成に有効である。従来提案されている形式の波長分割多重受動光通信網(WDM-PON)では通常他の利用者宅内装置である光端末装置(ONU)に対して通信する下り信号光は単なる雑音であり光ろ波器等で廃棄するだけの雑音でしかない。しかしこの実施例3-2では上り信号光として変調するための光として有効に利用することができる。なお他の光端末装置に対して通信する下り光通信光を活用することを前提に、光強度設計をする場合、接続光端末装置の数が少なく、十分な光強度の下り信号光が確保できない場合は、接続されていない光端末装置の分の下り光を対向光通信装置は出力する必要がある。

[実施例3-3]

この実施例3-3は式(22)又は式(23)、式(24)又は式(25)、式(26)又は式(27)、及び式(28)又は式(29)の関係をもつ関数として三角関数を用いるものである。つまりこの実施例3-3で用いる関数は光周波数光領域での光強度変化の周期が互いに整数倍の関係にあるか又は同一周期の場合は $\pi/2$ 位相が異なる関係の三角関数である。つまり例えばマークの信号光の光周波数特性関数 $M_i(f)$ は式(30)であり、

$$M_i(f) = (1 + \cos(2\pi sf / (f_L - f_0) + r\pi / 2)) / 2 \quad (30)$$

スペースの信号光の光周波数特性関数 $S_i(f)$ は $1 - M_i(f)$ 、つまり式(31)である。

[0157]
$$S_i(f) = 1 - (1 + \cos(2\pi sf / (f_L - f_0) + r\pi / 2)) / 2 \quad (31)$$

s は1から、最大 NI (所要符号数)を2で除した値 $NI/2$ までの整数値、 r は0又は1であり、また $f_L - f_0 = FSR$ である。図6中の(a), (b), (c)はそれぞれ $M_i(f)$ の $s=1, 2, 3$ と対応し、点線が $r=0$ 、実線が $r=1$ と対応する三角関数である。

このような光周波数特性関数のろ波器は先に述べたように例えば図7に示したマツ

ハツエンダ干渉計などを用いて簡易に構成することができる。その場合の光通信装置の例を図56に示す。光ファイバ410よりの下り信号光は光入出力共用器420を通じ、更に光分岐器421で下り復号器461と上り符号器441に分岐入力される。下り復号器461及び上り符号器441はそれぞれマッハツエンダ干渉計で構成されている。これら復号器461及び符号器441のマッハツエンダ干渉計の方路41と42の光路長差は関数 $IM_i(f)$ 及び $OM_i(f)$ と対応してそれぞれ決められている。復号器461におけるカプラ44の一方の出力ポートからマークの信号光が出力されるとすると、他方の出力ポートからスペースの信号光が出力され、これらはそれぞれ光検出器470M及び470Sへ入力される。一方符号器441におけるカプラ44の一方の出力ポートからはマークの信号光が他方の出力ポートからはスペースの信号光が切替器450へ入力される。その他の構成動作は図53に示した場合と同様である。

- [0158] この三角関数を用いる場合も各符号間の直交性が保たれ、他符号の干渉が除去され、かつ反射光の影響を受けず、1対N接続網などでは、対向光通信装置以外の他の光通信装置からの下り信号光も、上り信号光として変調するための光として有効に利用することもできるなどの実施例3-2と同様の効果を奏する。

[実施例3-4]

この実施例3-4は、下り信号光の光強度が不足するため、あるいは下り信号光を、光検出器のダイナミックレンジ内の光強度で受信するために、又は上り信号光を十分な光強度で出力するためのいずれか、あるいはそれらの複数を実現する光増幅器を設ける。

- [0159] 図53中に破線で示すように、光入出力共用器420と光分岐器421との間に光増幅器423が挿入され、下り信号光が増幅される。この光増幅器423は双方向からの入力光を増幅するもので、例えばSOA (Semiconductor Optical Amplifier、半導体光増幅器)を使用することができる。この場合は光ファイバ410に破線で示すように光増幅器423を挿入して下り信号光と上り信号光を増幅するようにしてもよい。又は光分岐器421の2つの分岐出力側にそれぞれ光増幅器423aと423bを挿入して、受信に用いる下り信号光を、光検出器470M及び470Sのダイナミックレンジ内の光強度になるように光増幅器423aの増幅率を選定し、また上り信号光が十分な光強度になるよ

うに送信に用いる下り信号光を増幅する光増幅器423bの増幅率を選定する。光増幅器423bは光合成器450の出力側に挿入してもよい。この場合、符号器441M及び441Sで符号化された光のみを増幅するため、効果的に増幅することができる。同様に光増幅器423aの代りに下りマーク復号器461M及び下りスペース復号器461Sの出力側に光増幅器423aM及び423aSを挿入すれば復号された信号光のみを効率的に増幅することができ、かつマーク用光増幅器423aMとスペース用光増幅器423aSをそれぞれ独立したハードリミッタとして用いることもできる。

- [0160] 光合成器450として、図57に示すように、上りマーク符号器441M及び上りスペース符号器441Sの各出力信号光をそれぞれ光増幅器452M及び452Sを通じて光合波器453で合波し、入力端子431よりのデータがマークであれば光増幅器452Mの増幅率を高くし、光増幅器452Sの増幅率を低くし、データがスペースであれば、光増幅器452Mの増幅率を低くし、光増幅器452Sの増幅率を高くして、マークとスペースに応じた符号光を選択出力するように、光増幅器452M及び452Sの両増幅率を端子431のデータにより制御してもよい。このようにして上り信号光の光強度を十分大きくすることもできる。この構成の場合は切替器430として光分岐器を用いてもよい。その場合は光通信装置として切替器を一切使用しないで済む効果がある。以上のように図53に示した光通信装置に光増幅器を用いる実施例を述べたが、この光通信装置に用いる符号器及び復号器のろ波特性関数としては光周波数チップ系列関数のみならず、実施例3-3で述べた三角関数でもよい。更に図52に示したように符号器の後段に全反射器を用い、光入出力共用器420を省略し、かつ下り信号光を復号する受信回路を備える光通信装置にもその各所に光増幅器を挿入して、同様に効果的に作用させることもできる。その例を、図58に挿入可能な光増幅器を破線で図52、図53、図57と同一参照番号を付けて示し、重複説明は省略する。この場合光入出力ポート412と直接接続される光分岐器は光合分波器421とされ、マーク符号器441M及びスペース符号器441Sに対し、全反射器451M及び451Sと反対側に挿入した光増幅器451M及び451Sの各増幅率をデータにより制御してマーク信号光及びスペース信号光を選択する場合は、切替器430の部分は光合分波器とされる。マーク符号器441M及びスペース符号器441Sを一体化した符号器441とす

る場合は符号器441のマーク信号光出力ポート及びスペース信号光出力ポートと全反射器451M及び451Sとの間に光増幅器451M及び451Sを挿入し、上りデータ系列によりこれら光増幅器451M及び451Sを制御する場合は符号器441の入力ポートが光合分波器421に直接接続され、光合分波器430を省略できる。この場合、光増幅器451M及び451Sの替りに上りデータにより互いに逆にオンオフ制御されるスイッチを用いてもよく、要は上りデータに応じてマーク信号光又はスペース信号光のいずれかを選択すればよい。

[実施例3-5]

上述では下り信号光に対する受信復号回路と、上り信号光のための送信符号化回路とを並列に設けたが、これらを縦続的に設けてもよい。以下に送信符号化回路を光入出力ポート412つまり光ファイバ410側として、その送信符号化回路に対し、受信復号回路を縦続的に設ける実施例3-5を図59を参照して以下に説明する。

[0161] 光入出力ポート412には必要に応じて光増幅器442を介して光合分波器430が接続される。従って光ファイバ410からの下り信号光は光合分波器430を介して符号器441M及び441Sに入力される。先に述べたようにマーク信号光とスペース信号光は各光周波数の光強度が相補的であり、かつ光周波数範囲 $f_0 \sim f_L$ の平均光強度は互いに等しく、下り信号光中のマーク信号又はスペース信号光を構成する光周波数成分の半分に相当する光周波数を上り信号光としてのマーク信号光又はスペース信号光としている。

従って下り信号光中の有効光周波数成分の半分は符号器441M及び441Sを透過し、これら透過光は切替器450で合成されて光合分波器424に入力され、光合分波器424にて全反射器451と光分岐器422に分岐される。光分岐器422に入力された下り信号光は復号器461M及び461Sに入力される。この下り信号光の光周波数特性がこれら復号器461M又は461Sのろ波特性関数と整合したものであれば、前述したように、少くとも光ファイバ410における下り信号光中の半分の光周波数成分が正しく透過し、従って比較器480より復号したデータを得ることができる。

[0162] 一方、全反射器451で反射された光は光合分波器424を通過して光合成器450に入力される。切替器450は端子431より上りデータ系列により、切替制御されている

から、先に下り信号光が符号器441M又は441Sを通過した際に符号化された信号光が全反射器451で反射され、同一の符号化を受けて光合分波器430に入力され、これより上り信号光として光ファイバ410に入力される。この上り信号光は符号器441M又は441Sにより2回符号化され、その符号化は同一特性であるが、最終的の上り信号光としての符号化が、先の光ファイバ410から切替器450へ通過する際に符号化され、全反射器451により反射された光により影響されて上り信号光の光周波数特性が乱だされるおそれがある。そのような場合は光ファイバ410へ入力する上り信号光を光増幅器442により飽和するまで増幅するとよい。ただしこの場合は信号光の関数としてチップ系列を用いる場合に限られる。光合分波器430を切替器とし、切替器450を光合分波器としてもよい。その他前述した各種変形を同様に施すことができる。なお切替器450を図57に示した構成とし、その光増幅器452M及び452Sにより、光ファイバ410へ入力される上り信号光を飽和増幅して、光増幅器442の代用も兼ねるようにしてもよい。更に光増幅器442を図59中に破線で示すように、全反射器451の前段に配してもよい。この場合はSOAの一端に全反射コーティングを施し、光増幅器と全反射器を単一部品として構成することができる。

[実施例3-6]

この実施例3-6は実施例3-5における光合分波器424と全反射器451を省略し、例えば図60に示すようにする。符号器441M及び441Sを透過した下り信号光は切替器450より一部反射器454に入力され、一部反射器454で下り信号光の一部が反射され、一部が透過して光分岐器422に入力される。この場合も、下り信号光を正しく復号することができ、かつ下り信号光の一部を利用して上り信号光を生成できることは容易に理解されよう。この例では図59に示した場合と比較して光合分波器424を省略でき、光合分波器424における損失がなくなる効果がある。破線で示すように光増幅器442を一部反射器454の切替器450側に挿入してもよい。この場合は、例えばSOAの一端に一部反射するコーティングを施すことにより光増幅器と一部反射器を単一部品として構成することができる。切替器450を図57に示した構成とし、その光増幅器451M及び451Sを光増幅器442として兼用させてもよい。その他、前述した各種変形を同様に行うこともできる。

[実施例3-7]

この実施例は受信回路の後に送信回路を縦続させた場合である。また受信回路における光検出器470M及び470Sとして、例えば図61に示すように入力光強度に比例した電気信号を取り出すことができる光増幅器よりなる光検出器471M及び471Sを用いる。このような光検出器471M及び471Sとしては例えばSOAを用いることができ、光検出器471M及び471Sで出力された、マーク復号器461M及びスペース復号器461Sよりの各信号光の光強度に比例した各電気信号は比較器480へ入力される。一方、光検出器471M及び471Sよりの増幅された信号光は光合波器472で合波されて、切替器430へ入力される。その他の構成動作は図53に示した場合と同様である。この場合も各マーク信号光、スペース信号光の光周波数特性が前述したように作られているため、下り復号器461を透過した信号光は下り信号光の光周波数成分の半分が含まれ、上り符号器441により上りマーク信号光又は上りスペース信号光を生成することができる。この構成により、図53に示した構成に対し、下り信号光を受信側と送信側とに分離するための光分岐器421が不要となり、かつ符号器441M及び441Sに入力する下り信号光を光検出器471M、471Sにより増幅することができる。

- [0163] 図56に示したようにマッハツエンダ干渉計を下り復号器461及び上り符号器441として用いる場合に、光検出器として光増幅器471M及び471Sを用いる実施例を図62に示す。光入出力共用器420よりの下り信号光は下り復号器461に直接入力され、下り復号器461よりの復号された下りマーク信号光及び下りスペース信号光は光増幅器よりなる光検出器471M及び471Sにそれぞれ入力される。光検出器471M及び471Sよりの光強度に比例した電気信号は比較器480へ入力され、光検出器471M及び471Sより光増幅されマーク信号光及びスペース信号光は、下り復号器461のマッハツエンダ干渉計とポートを入れかえたマッハツエンダ干渉計よりなる補正合波器473に入力される。下り復号器461における方路41及び42の光路長の差が、補正合波器473における方路41及び42の光路長の差により補正され、下りマーク信号光と下りスペース信号光がそれぞれ同一長の光路を通過した状態でカプラ44で合波される。この合波された下り信号光はマッハツエンダ干渉計よりなる上り符号

器441に入力される。その他の構成及び動作は図56に示したものと同様である。光検出器471M及び471Sの各出力光をマッハツエンダ干渉計により合波しているため、図61中の光合波器472を用いる場合より損失を減少できる。

- [0164] 以上述べた第3実施形態を一般的に説明すると以下のようになる。光送信装置からの下り信号光を送信し、その下り信号光を反射型光通信装置で受信し、受信下り信号光の一部を用いて下りデータ系列を再生すると共に、受信下り信号の一部に対し、上りデータ系列により変調して上り信号として上記光送信装置へ送信する光通信システムを前提とする。

この第3実施形態では、関数とその反転関数とは必ずしも周期性がなくてもよい。従って受信光符号信号の光強度周波数特性が関数 $C_i(f)$ または $C_k(f)$ とし、上り符号器441、ろ波光周波数特性関数を $C_j(f)$ 又は $C_m(f)$ とし、光周波数 F_{st} から F_{la} までの任意の範囲における光周波数幅FSRの次式の内積積分を満たす、

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot C_m(f) df$$

$$\int C_k(f) \cdot C_i(f) df = \int C_k(f) \cdot C_m(f) df$$

しかし必ずしも $C_k(f) = (1 - C_i(f))$ 、 $C_m(f) = (1 - C_j(f))$ でない。ただし $C_k(f) \neq (1 - C_i(f))$ の場合は、 $(1 - C_i(f))$ 及び $(1 - C_k(f))$ は同一システム内は用いない。同様に $C_m(f) \neq (1 - C_j(f))$ の場合は、 $(1 - C_j(f))$ 、 $(1 - C_m(f))$ は同一システム内で用いない。

- [0165] 更に内積積分 $\int C_i(f) \cdot C_j(f) df$ と $\int C_k(f) \cdot C_i(f) df$ の少なくとも一方はゼロでない。つまり $C_i(f) > 0$ 、 $C_k(f) > 0$ のいずれかが成立つ。

関数 $C_i(f)$ 、 $C_j(f)$ が周期性があれば、次のようになる。

光周波数 F_{st} から F_{la} までの範囲において各符号の関数の繰り返し周期FSR i の公倍数を光周波数幅FSRとし、関数の繰り返し周期FSR i の公倍数で光周波数幅FSRを除した値を光周波数幅FSR i とすると、

$$C_i(f) = C_i(f + FSR_i) \text{ であり、}$$

$$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ であり、}$$

i 番目以外の j 番目の光周波数特性関数 $C_j(f)$ に対し、

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ であり、}$$

このような関係の光周波数特性関数に対し、受信下り信号光は2値データ系列の各データごとにそれがマークであればその光周波数特性関数が $C_i(f)$ とされ、スペースであればその光周波数特性関数が $(1-C_i(f))$ とされたものである。この下り信号光の一部はろ波特性関数が $C_i(f)$ と $(1-C_i(f))$ の復号器を通し、その透過光の光強度をそれぞれ検出し、これら光強度の差から受信下り信号光がマークかスペースに再生される。

- [0166] また下り信号光の一部に対し符号器により、上りデータ系列の各データごとにそれがマークであれば光周波数特性が関数 $C_j(f)$ 又は $(1-C_j(f))$ に変調され、スペースであれば光周波数特性が関数 $(1-C_j(f))$ 又は $C_j(f)$ に変調されて上り信号光として送信される。

請求の範囲

- [1] 2値データ系列の各データごとに、その値に応じた、i番目符号の関数 $C_i(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_i(f))$ の少なくとも一方を、光強度周波数特性とした光符号信号を、少なくとも光周波数幅FSR分送信する光送信装置と、
- 関数 $C_i(f)$ は光周波数 f を変数とし、 $C_i(f) = C_i(f + \text{FSR}_i)$ が成立する周期関数であり、
- 光周波数幅FSRは所定の光周波数 F_{st} から所定の光周波数 F_{la} までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期 FSR_i の公倍数の光周波数幅であり、
- 関数 $C_i(f)$ の反転関数は、1からこの関数 $C_i(f)$ を減じた関数であり、
- 関数 $C_i(f)$ と、反転関数 $(1-C_i(f))$ との間に
- $$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1-C_i(f)) df$$
- の関係が成立し、
- $\int df$ は F_{st} から F_{la} までの任意の区間FSRにおける f に関する定積分であり、
- 関数 $C_i(f)$ とi番目符号以外の任意のj番目符号の関数 $C_j(f)$ 及びこの関数 $C_j(f)$ の反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に
- $$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1-C_j(f)) df$$
- の関係が成立し、
- 受信した光信号から、関数 $C_i(f)$ に基づき光強度周波数特性が $C_i(f)$ の光信号の光強度と対応する第1強度信号と、
- 受信光信号から、反転関数 $(1-C_i(f))$ に基づき、光強度周波数特性が $(1-C_i(f))$ の光信号の光強度と対応する第2強度信号との差に応じた第1差信号からデータ系列を再生する光受信装置とを備えることを特徴とする光符号を用いる光通信システム。
- [2] 請求項1のシステムにおいて、
- 周期 FSR_i は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 N_i で光周波数幅FSRを除した光周波数幅であり、
- 光周波数幅FSR以下の任意の光周波数幅を関数 $C_i(f)$ の繰り返し周期 FSR_i で除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f / \text{FSR}_i)$ を関数 $C_i(f)$ に対する位相差とし、
- 上記剰余 Δf だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ でのi番目符号の関数 $C_i(f + \Delta f)$ と等しい関数を $C_i'(f) = C_i(f + \Delta f)$ とし、

関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1-C_j'(f)) df \text{ の関係が成立し、}$$

光送信装置は2値データ系列の各データごとに、その値に応じた Δf の値の関数 $C_i'(f)$ を少なくとも光周波数幅FSRだけ送信する装置であり、

光受信装置において、受信した光信号から、送信装置で送信する Δf の値に対応する各関数 $C_i'(f)$ に基づき、光強度周波数特性が $C_i'(f)$ の光信号の光強度と対応する第1強度信号と、反転関数 $(1-C_i'(f))$ に基づき光強度周波数特性が $(1-C_i'(f))$ の光強度と対応する第2強度信号との差に応じた上記各 Δf の値に対応する各第1差信号からデータ系列を再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[3] 請求項1のシステムにおいて、

周期FSR $_i$ は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 N_i で光周波数幅FSRを除した光周波数幅であり、

光周波数幅FSR以下の任意の光周波数幅を周期FSR $_i$ で除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f/\text{FSR}_i)$ を関数 $C_i(f)$ に対する位相差とし、 $\Delta f = \pi/2$ とし、

上記剰余 Δf だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での i 番目符号の関数 $C_i(f + \Delta f)$ と等しい関数を $C_i'(f) = C_i(f + \Delta f)$ とし、

関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1-C_j'(f)) df \text{ の関係が成立し、}$$

光送信装置は2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列とに分離し、その第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が $C_i(f)$ 又は $(1-C_i(f))$ とされた光信号と、

第2分離データ系列の各データごとにその値に応じた関数 $C_i'(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_i'(f))$ の少なくとも一方又は関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1-C_j(f))$ の少なくとも一方を光強度周波数特性とした光信号の、少なくとも関数 $C_i'(f)$ 又は $C_j(f)$ の1周期FSR $_i$ 又はFSR $_j$ 分の光信号とを合成した光信号を光符号信号として出力する装置であり、

上記光受信装置において、受信した光信号から、関数 $C_i'(f)$ 及びその反転関数

($1-C_i'(f)$)に基づき、光強度周波数特性が $C_i'(f)$ の光信号及び光強度周波数特性が($1-C_i'(f)$)又は関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数($1-C_j(f)$)に基づき、光強度周波数特性が $C_j(f)$ の光信号及び光強度周波数特性が($1-C_j(f)$)の各光強度とそれぞれ対応する第3強度信号及び第4強度信号間の差に応じた第2差信号を検出し、この第2差信号と上記第1差信号とから第1分離データ系列及び第2分離データ系列を再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[4] 請求項3のシステムにおいて、

光送信装置は入力2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列と、第3分離データ系列と第4分離データ系列とに分離し、

第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数 $C_i(f)$ 又は($1-C_i(f)$)とされた第1光信号及び第2分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数 $C_i'(f)$ 又は($1-C_i'(f)$)あるいは $C_j(f)$ 又は($1-C_j(f)$)とされた第2光信号をそれぞれ第3分離データ系列の各データごとの値及び第4分離データ系列の各データごとの値にそれぞれ応じた光強度とした両信号の合成信号を光符号信号として送信する装置であり、

光受信装置は上記第1差信号及び上記第2差信号をそれぞれディジタル値に変換し、これらディジタル値により第1分離データ系列、第2分離データ系列、第3分離データ系列、第4分離データ系列をそれぞれ再生する装置であることを特徴とする光通信システム。

[5] 請求項1のシステムにおいて、

光送信装置には光周波数幅が少なくともFSRで、光強度周波数特性が $C_j(f)$ または($1-C_j(f)$)の光符号信号が受信入力され、

その受信光符号信号に対し、2値データ系列の各データごとに、その値に応じて、光強度周波数特性として $C_i(f)$ 、($1-C_i(f)$)又は零のいずれかを乗じて出力する装置であることを特徴とする光通信システム。

[6] 請求項1～5のいずれかのシステムにおいて、

周期 FSR_i は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 N_i で光周波数幅FSRを除した光周波数幅とし、FSR以下の任意の周波数幅を、関数 $C_i(f)$ の繰返し周期 FSR_i で除した剰余を

Δf とし、関数 $C_i(f)$ と $C_j(f)$ は、異なる周期 FSR_i と周期 FSR_j であるか又は周期 FSR_i と周期 FSR_j は同一値であり FSR 以下の任意の周波数幅を、 $C_j(f)$ は関数 $C_i(f)$ の繰返し周期 FSR_i で除した剰余を Δf とし、関数 $C_i(f)$ の位相 $2\pi(\Delta f/FSR_i)$ が4分の π の $C_i'(f)$ である正弦関数を含む関数又は余弦関数を含む関数であることを特徴とする光通信システム。

[7] 請求項1〜5のいずれかのシステムにおいて、

関数 $C_i(f)$ に対応する任意の整数 S_i と N_i とに、整数2を乗じた値 $L=2S_i \cdot N_i$ で光周波数幅 FSR を分割してチップとし、関数 $C_i(f)$ は連続する S 個のチップを光強度1とし、それに続く S 個のチップを光強度0とすることを N_i 回繰返す、又はその光強度を1とする連続 S 個のチップの光周波数位置を、所定値ずつ順次移動した関数であることを特徴とする光通信システム。

[8] 請求項1〜5のいずれかのシステムにおいて、

当該光通信システムは双方向通信システムであり、

その少なくとも一方の側の光送信装置は、光ろ波周波数特性関数 $C_i(f)$ 又は反転関数 $(1-C_i(f))$ の少なくとも一方の符号化用光ろ波器により光信号に対し光強度周波数特性を付与する装置であり、かつ光受信装置は、光ろ波周波数特性関数 $C_i'(f)$ 及び $(1-C_i'(f))$ あるいは $C_j(f)$ 及び $(1-C_j(f))$ の各復号化用光ろ波器により、光強度周波数特性が $C_i'(f)$ 又は $(1-C_i'(f))$ あるいは $C_j(f)$ 及び $(1-C_j(f))$ の光符号信号を受信光信号から分離する装置であり、ここで $C_i'(f)$ は $C_i(f)$ に対しその4分の1周期ずれた関数であり、

上記符号化用光ろ波器及び上記両復号化用光ろ波器が単一プレーナ光波回路基板上に構成され、

上記符号化用光ろ波器及び上記復号化用光ろ波器の一方の透過光信号の光強度を検出する強度検出手段と、

その検出された光強度が最大になるように、上記プレーナ光波回路基板の温度を制御する制御手段とが備えられていることを特徴とする光通信システム。

[9] 請求項1〜5のいずれかのシステムにおいて、

光受信装置は、

光符号信号の符号を構成するチップ毎に受信光信号を分波し、
 これら分波した各光チップの光強度をチップ毎にチップ強度信号として検出し、
 入力受信光信号の伝送路における到着時間が異なる光チップの時間と対応し、こ
 れらが同一到着時間となるような遅延を対応チップ強度信号に与え、これら到着時間
 が同一とされたチップ強度信号を、関数 $C_i(f)$ が1に相当するチップの出力の総和か
 ら関数 $(1-C_i(f))$ が1に相当するチップ強度信号の総和を減じて上記第1差信号を
 得る装置であることを特徴とする光通信システム。

- [10] 2値データ系列と光信号が入力され、
 2値データ系列の各データごとに、その値に応じた i 番目符号の関数 $C_i(f)$ 及びそ
 の反転関数 $(1-C_i(f))$ の少なくとも一方を、光強度周波数特性とした光符号信号を
 、少なくとも光周波数幅FSR分生成送信する光送信装置。ここで関数 $C_i(f)$ は光周
 波数 f を変数とし、 $C_i(f) = C_i(f + \text{FSR}i)$ が成立する周期関数であり、
 光周波数幅FSRは所定の光周波数 F_{st} から所定の光周波数 F_{la} までの範囲にお
 いて、各符号の関数中の繰り返し周期 $\text{FSR}i$ の公倍数の光周波数幅であり、
 関数 $C_i(f)$ の反転関数は、1からこの関数 $C_i(f)$ を減じた関数であり、
 関数 $C_i(f)$ と、反転関数 $(1-C_i(f))$ との間に

$$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1-C_i(f)) df$$
 の関係が成立し、
 $\int df$ は F_{st} から F_{la} までの任意の区間FSRにおける f に関する定積分であり、
 関数 $C_i(f)$ と i 番目符号以外の任意の j 番目符号の関数 $C_j(f)$ 及びこの関数 $C_j(f)$ の
 反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1-C_j(f)) df$$
 の関係が成立する。

- [11] 請求項10の装置において、
 互いに異なる関数の光強度周波数特性の光符号信号をそれぞれ生成出力する N
 個の符号器と、 N は2以上の整数であり、
 上記 N 個の光符号信号を合成して送信する合成器とを備えることを特徴とする光送
 信装置。

- [12] 請求項11の装置において、
 1から、符号数 N を整数 q で除した値 N/q までの整数値を a とし、 r を2の剰余とし、

関数 $C_i(f)$ は、

$$(1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / \text{FSR} + r \cdot \pi / 2)) / 2$$

であることを特徴とする光送信装置。

[13] 請求項11の装置において、

任意の整数 S で光周波数幅 FSR を分割してチップとし、

関数 $C_i(f)$ 及び関数 $C_j(f)$ はそれぞれ“1”のチップと“−1”のチップとよりなることを特徴とする光送信装置。

[14] 請求項11の装置において、

各符号器は、それぞれその符号器に決められた符号関数の光強度周波数特性の第1光符号信号を生成する第1変調部と、第1変調部の関数の反転関数の光強度周波数特性の第2光符号信号を生成する第2変調部と、入力された2値データの一方で第1光符号信号及び第2光符号信号との少なくとも一方を、2値データの他方で上記第1光符号信号及び第2光符号信号の少なくとも他方を出力する切替器を備えることを特徴とする光送信装置。

[15] 請求項10の装置において、

周期 FSR_i は $C_i(f)$ と対応する整数 N_i で FSR を除した光周波数幅であり、

FSR 以下の任意の光周波数を、関数 $C_i(f)$ の周期 FSR_i で除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f / \text{FSR}_i)$ を関数 $C_j(f)$ に対する位相差とし、

上記剰余 Δf だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での i 番目符号の関数 $C_i(f + \Delta f)$ と等しい関数を $C_i'(f) = C_i(f + \Delta f)$ とし、

関数 $C_i'(f)$ と関数 $C_j(f)$ 及びその反転関数 $(1 - C_j(f))$ との間に

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ の関係が成立し、}$$

上記2値データ系列の各データごとに、その値に応じた Δf の値の関数 $C_i'(f)$ を少なくとも光周波数幅 FSR だけ送信する装置であり、

入力2値データ系列を複数の分離データ系列に分離する系列変換部と、

各分離データ系列について、上記関係条件を満たす符号関数について、データごとにその値に応じた、位相 Δf のみが異なる関数の一つを光強度周波数特性とした光符号信号を生成する符号変調部と、

これら符号変調部より光符号信号を合成して光符号信号として出力する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

[16] 請求項10の装置において、

FSR_iはC_i(f)と対応する整数N_iでFSRを除した光周波数幅であり、

FSR以下の任意の光周波数をFSR_iで除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f/\text{FSR}_i)$ を関数C_i(f)に対する位相差とし、

上記剰余 Δf だけ異なる光周波数(f + Δf)でのi番目符号の関数C_i(f + Δf)と等しい関数をC_i'(f) = C_i(f + Δf)とし、

関数C_i'(f)と関数C_j(f)及びその反転関数(1 - C_j(f))との間に

$$\int C_i'(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i'(f) \cdot (1 - C_j(f)) df \text{ の関係が成立し、}$$

$\Delta f = \pi/2$ とし、

入力2値データ系列を第1分離データ系列と第2分離データ系列に分離する系列変換部と、

第1分離データ系列により上記光強度周波数特性が関数C_i(f)又は(1 - C_i(f))とされた第1光信号を生成する第1変調部と、

第2分離データ系列の各データごとにその値に応じた関数C_i'(f)及びその反転関数(1 - C_i'(f))の少なくとも一方又は関数C_j(f)及びその反転関数(1 - C_j(f))の少なくとも一方を光強度周波数特性とした第2光信号の少なくとも関数C_i'(f)又はC_j(f)の1周期FSR_i又はFSR_j分の第2光信号を生成する第2変調部と、

第1光信号と第2光信号を合成して光符号信号として出力する合成器とを備えることを特徴とする光送信装置。

[17] 請求項16の装置において、

系列変換部は入力2値データ系列を第1, 第2, 第3及び第4分離データ系列に分離する変換部であり、

上記第1光信号及び第2光信号をそれぞれ、第3分離データ系列及び第4分離データ系列の各データごとにその値にそれぞれ応じた光強度とする第3変調部及び第4変調部とを備え、

上記合成器は第3変調部及び第4変調部の出力光を合成する合成器であることを

特徴とする光送信装置。

- [18] 請求項15～17のいずれかの装置において、
周期FSR_iは関数C_i(f)に対応する整数N_iで光周波数幅FSRを除した光周波数幅とし、関数C_i(f)の繰返し周期であるFSR_iで、FSR以下の任意の周波数幅を除した時の剰余を Δf とし、関数C_i(f)とC_j(f)は、異なる周期FSR_iと周期FSR_jであるか又は周期FSR_iと周期FSR_jは同一値でありC_j(f)は関数C_i(f)の繰返し周期であるFSR_iでFSR以下の任意の周波数幅を除した時の剰余を Δf とし、関数C_i(f)の位相 $2\pi(\Delta f/\text{FSR}_i)$ が4分の π のC_{i'}(f)である正弦函数を含む函数あるいは余弦関数を含む関数であることを特徴とする光送信装置。
- [19] 請求項15～17のいずれかの装置において、
任意の整数Sと、符号関数C_i(f)に対応する任意の整数S_iとN_iとに、整数2を乗じた値 $L=2S_i \cdot N_i$ で光周波数幅FSRを分割してチップとし、関数C_i(f)は連続するS個のチップを光強度1とし、それに続くS個のチップを光強度0とすることをN_i回繰返す、又はその光強度を1とする連続S個のチップの光周波数位置を所定値ずつ順次移動した関数であることを特徴とする光送信装置。
- [20] 請求項15～17のいずれかの装置において、
所定の光周波数F_{st}～所定の光周波数F_{la}の範囲に含まれる所定の光周波数幅(FSR)で光周波数信号を出力する光源と、
光源よりの出力光信号を複数に分岐する光分岐器と、
分岐された光が入力され、光透過周波数特性が符号関数の複数の光ろ波器と、
これら光ろ波器の透過光を合成して光符号信号として出力する光合成器と、
これら複数の光ろ波器と光分岐器又は光合成器との間に挿入され、複数の分離データ系列により制御される符号変調手段とを備える光送信装置。
- [21] 請求項15～17のいずれかの装置において、
光周波数幅FSRを、自然数Nと3以上の整数Lで除した単位光周波数幅をチップ幅とし、NLのチップに対応する光周波数の光信号を出力する少なくともNL個の光源と、
NL個の光源を駆動する駆動信号を発生する駆動信号発生器と、

これらNL個の光源の出力光を合成して光符号信号として出力する光合成器と、NL個の光源と駆動信号発生器又は光合成器との間に挿入され、複数の分離データ系列により制御される符号変調手段とを具備する光送信装置。

- [22] 関数に従った光強度周波数特性の光信号を透過するろ波手段と、光信号の光強度を検出する強度検出手段と、強度信号を加減算する手段とを備え、
受信光信号が入力され、周波数特性関数 $C_i(f)$ に基づき光強度周波数特性が $C_i(f)$ の光信号の光強度と対応する第1強度信号と、

受信光信号が入力され、反転周波数関数 $(1-C_i(f))$ に基づき光強度周波数特性が $(1-C_i(f))$ の光信号の光強度と対応する第2強度信号との差に応じたデータを再生することを特徴とする光受信装置。

ここで関数 $C_i(f)$ は $C_i(f) = C_i(f + \text{FSR}_i)$ が成立する周期関数であり、関数 $C_i(f)$ の関数値が0から1の値をとり、

光周波数幅FSRは所定の光周波数 F_{st} から所定の光周波数 F_{la} までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期 FSR_i の公倍数の光周波数幅であり、

関数 $C_i(f)$ の反転関数は、1から関数 $C_i(f)$ を減じた関数 $(1-C_i(f))$ であり、
関数 $C_i(f)$ と関数 $(1-C_i(f))$ との間に

$$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1-C_i(f)) df \text{ の関係が成立し、}$$

$\int df$ は F_{st} から F_{la} までの光周波数幅FSRの任意の区間における f に関する定積分であり、

関数 $C_i(f)$ と i 番目符号以外の任意の j 番目符号の関数 $C_j(f)$ 及びこの関数 $C_j(f)$ の反転関数 $(1-C_j(f))$ との間に

$$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1-C_j(f)) df \text{ の関係が成立する。}$$

- [23] 請求項22の装置において、

上記受信光信号は、直交性を満足する光強度周波数特性で符号化された複数の光符号信号であり、

受信光信号が入力され、受信光信号を複数の分配器と、

分配器より分配された各受信光信号がそれぞれ入力され、ろ波光周波数特性が関数 $C_i(f)$ の第1ろ波器と、

第1ろ波器の出力が入力され、その光強度を第1強度信号として検出する第1強度検出器と、

受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数 $(1-C_i(f))$ の第2ろ波器と、

第2ろ波器の出力が入力され、その光強度を第2強度信号として検出する第2強度検出器と、

第1強度信号及び第2強度信号が入力され、その一方から他方の差の強度に基づき2値データを再生する強度差検出器とを備える複数の復号器とを具備する光受信装置。ただし複数の復号器間において関数 $C_i(f)$ 及び $(1-C_i(f))$ は互いに異なる。

[24] 請求項23の装置において、

1から、符号数 N を整数 q で除した値 N/q までの整数値を a とし、 r を2の剰余とし、関数 $C_i(f)$ は、

$$(1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot a \cdot f / \text{FSR} + r \cdot \pi / 2)) / 2$$

であることを特徴とする光受信装置。

[25] 請求項23の装置において、

任意の整数 S で光周波数幅 FSR を分割してチップとし、

関数 $C_i(f)$ 及び関数 $C_j(f)$ はそれぞれ“1”のチップと“−1”のチップとよりなり、

受信光信号が入力され、その受信入力信号をチップごとに分割出力するろ波器と、

このろ波器の各チップごとの出力がそれぞれ入力され、そのチップごとの光強度と対応したチップ強度信号をそれぞれ検出する複数のチップ強度検出器と、

これら各チップ強度信号が入力され、関数 $C_i(f)$ の各“1”のチップと対応するチップ強度信号を正とし、関数 $(1-C_i(f))$ のチップ各“1”のチップと対応するチップ強度信号を負として全入力の総和に基づき2値データを出力する強度差検出器とを備えることを特徴とする光受信装置。

[26] 請求項22の装置において、

FSR_i は $C_i(f)$ と対応する整数 N_i で FSR を除した光周波数幅であり、

FSR 以下の任意の光周波数を FSR_i で除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f / \text{FSR}_i)$ を関数 $C_i(f)$ に対する位相差とし、

上記剰余 Δf だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での i 番目符号の関数 $C_i(f + \Delta f)$ と等し

い関数を $Ci'(f) = Ci(f + \Delta f)$ とし、

関数 $Ci'(f)$ と関数 $Cj(f)$ 及びその反転関数 $(1 - Cj(f))$ との間に

$\int Ci'(f) \cdot Cj(f) df = \int Ci'(f) \cdot (1 - Cj(f)) df$ の関係が成立し、

受信光信号が入力され、相手送信装置が送信しうる Δf の値に対応するろ波光周波数特性が関数 $Ci'(f)$ の各第1ろ波器と、

受信光信号が入力され、相手送信装置が送信しうる Δf の値に対応するろ波光周波数特性が関数 $(1 - Ci'(f))$ の各第2ろ波器と、

第1ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第1強度信号を検出する第1強度検出器と、

第2ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第2強度信号を検出する第2強度検出器と、

第1強度信号と第2強度信号が入力され、これら間の差を求めて2値データ系列を再生出力する手段とを備える光信号受信装置。

[27] 請求項22の装置において、

$FSRi$ は $Ci(f)$ と対応する整数 Ni で FSR を除した光周波数幅であり、

FSR 以下の任意の光周波数を $FSRi$ で除した剰余を Δf とし、位相 $2\pi(\Delta f / FSRi)$ を関数 $Ci(f)$ に対する位相差とし、

上記剰余 Δf だけ異なる光周波数 $(f + \Delta f)$ での i 番目符号の関数 $Ci(f + \Delta f)$ と等しい関数を $Ci'(f) = Ci(f + \Delta f)$ とし、 $\Delta f = \pi / 2$ とし、

関数 $Ci'(f)$ と関数 $Cj(f)$ 及びその反転関数 $(1 - Cj(f))$ との間に

$\int Ci'(f) \cdot Cj(f) df = \int Ci'(f) \cdot (1 - Cj(f)) df$ の関係が成立し、

受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数 $Ci(f)$ の第1ろ波器と、

受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数 $(1 - Ci(f))$ の第2ろ波器と、

第1ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第1強度信号を検出する第1強度検出器と、

第2ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第2強度信号を検出する第2強度検出器と、

受信光信号が入力され、ろ波周波数特性が関数 $Ci'(f)$ 又は $Cj(f)$ の第3ろ波器と

、
受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数 $(1-C_i'(f))$ 又は $(1-C_j(f))$ の第4ろ波器と、

第3ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第3強度信号を検出する第3強度検出器と、

第4ろ波器の出力が入力され、その出力の光強度と対応した第4強度信号を検出する第4強度検出器と、

第1強度信号と第2強度信号が入力され、これらの差を第1差信号として出力する第1減算器と、

第2強度信号と第4強度信号が入力され、これらの差を第2差信号として出力する第2減算器と、

第1差信号と第2差信号が入力され、2値データ系列を出力するデータ生成手段とを備えることを特徴とする光受信装置。

[28] 請求項27の装置において、

データ生成手段は、第1差信号を第1の2値データとし、第2差信号を第2の2値データとし、これら第1の2値データと第2の2値データを順次配列して上記2値データ系列とする手段であることを特徴とする光受信装置。

[29] 請求項27の装置において、

データ生成手段は第1差信号を第1ディジタル値に変換する第1A/D変換器と、第2差信号を第2ディジタル値に変換する第2A/D変換器と、

第1ディジタル信号と第2ディジタル信号が入力され、これらの各ディジタル値の組み合わせについてあらかじめ決めた4個以上のデータ0又はデータ1の組み合わせ中の対応する1つを出力する2値系列手段とを備えることを特徴とする光受信装置。

[30] 請求項26～29のいずれかの装置において、

周期 FSR_i は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 N_i で光周波数幅 FSR を除した光周波数幅とし、関数 $C_i(f)$ の繰返し周期である FSR_i で、 FSR 以下の任意の周波数幅を除した時の剰余を Δf とし、関数 $C_i(f)$ と $C_j(f)$ は、異なる周期 FSR_i と周期 FSR_j であるか又は周期 FSR_i と周期 FSR_j は同一値であり $C_j(f)$ は関数 $C_i(f)$ の繰返し周期である FSR_i

でFSR以下の任意の周波数幅を除いた時の剰余を Δf とし、関数 $C_i(f)$ の位相 $2\pi(\Delta f/\text{FSR}_i)$ が4分の π の $C_i'(f)$ であることを特徴とする光受信装置。

[31] 請求項26～29のいずれかの装置において、

関数 $C_i(f)$ に対応する任意の整数 S_i と N_i に、整数2を乗じた値 $L=2S_i \cdot N_i$ で光周波数幅FSRを分割してチップとし、

関数 $C_i(f)$ 及び関数 $C_j(f)$ はそれぞれ“1”のチップと“−1”のチップとよりなり、
受信光信号が入力され、その受信入力信号をチップごとに分割出力するろ波器と、
このろ波器の各チップごとの出力がそれぞれ入力され、そのチップごとの光強度と
対応したチップ強度信号をそれぞれ検出する複数のチップ強度検出器と、

これら各チップ強度信号が入力され、関数 $C_i(f)$ の各“1”のチップと対応するチップ強度信号を正とし、関数 $(1-C_i(f))$ のチップ各“1”のチップと対応するチップ強度信号を負として全入力の総和に基づき2値データを出力する強度差検出器とを備えることを特徴とする光受信装置。

[32] 受信光信号と、2値データ系列が入力され、その受信光信号に対し光強度周波数特性を光周波数 f を変数とする関数に変調して送信する反射型光通信装置において

、
少なくとも光周波数幅FSRの光周波数幅の受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が第1関数 $C_i(f)$ で光信号を出力する符号器と、

受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が反転関数 $(1-C_i(f))$ で反転光信号を出力する反転符号器と、

各データの値に応じて光信号と反転光信号を選択合波して光符号信号として送信する選択合波手段とを備える反射型光通信装置。

ここで関数 $C_i(f)$ は $C_i(f) = C_i(f + \text{FSR}_i)$ が成立する周期関数であり、関数 $C_i(f)$ の関数値が0から1の値をとり、

光周波数幅FSRは所定の光周波数 F_{st} から所定の光周波数 F_{la} までの範囲において、各符号の関数中の繰り返し周期 FSR_i の公倍数の光周波数幅であり、

関数 $C_i(f)$ の反転関数は、1からこの関数 $C_i(f)$ を減じた関数 $(1-C_i(f))$ であり、

関数 $C_i(f)$ と関数 $(1-C_i(f))$ との間に

$\int C_i(f) \cdot C_i(f) df > \int C_i(f) \cdot (1 - C_i(f)) df$ の関係が成立し、
 $\int df$ は F_{st} から F_{la} までの任意の区間FSRにおける f に関する定積分であり、
関数 $C_i(f)$ と i 番目符号以外の任意の j 番目符号の関数 $C_j(f)$ 及びこの関数 $C_j(f)$ の
反転関数 $(1 - C_j(f))$ との間に

$\int C_i(f) \cdot C_j(f) df = \int C_i(f) \cdot (1 - C_j(f)) df$ の関係が成立する。

- [33] 請求項32の装置において、
受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数 $C_j(f)$ の復号器と、
受信光信号が入力され、ろ波光周波数特性が関数 $(1 - C_j(f))$ の反転復号器と、
復号器の出力光が入力され、その光強度に応じた強度信号を出力する第1光検出器と、
反転復号器の出力光が入力され、その光強度に応じた反転強度信号を出力する反転光検出器と、
強度信号及び反転強度信号が入力され、これらのレベル差が所定値以上のものについてその差に応じて2値データ的一方を出力する比較器とを備えることを特徴とする反射型通信装置。

- [34] 請求項33の装置において、
選択合波手段は、符号器及び反転符号器に全反射する全反射器及び反転全反射器と、符号器及び反転符号器と全反射器及び反転全反射器との間にそれぞれ挿入され、入力データの値に応じて光信号及び反転光信号のいずれかを選択する選択器及び反転選択器とを備えることを特徴とする反射型光通信装置。

- [35] 請求項33の装置において、
光検出器及び反転光検出器として、入力光信号を光増幅して出力すると共に入力光信号の光強度に応じた強度信号を出力する光増幅器が用いられ、
上記光検出器及び上記反転光検出器の各増幅光信号を合波して上記受信光信号として符号器及び反転符号器に入力する光合波器を備えることを特徴とする反射型光通信装置。

- [36] 請求項33の装置において、
上記光信号と反転光信号を入力データの値に応じて選択する切替器と、

その切替器の出力が入力され、その出力を2分岐してその一方を復号器及び反転復号器に入力する光合分波器と、

上記光合分波器の他方の分岐光が入力され、これを全反射する全反射器とを備えることを特徴とする反射型光通信装置。

[37] 請求項33の装置において、

光信号と反転光信号を入力データの値に応じて選択する切替器と、

上記切替器の出力光が入力され、その一部を反射し、残りを復号器及び反転復号器へ入力する一部反射器とを備えることを特徴とする反射型光通信装置。

[38] 請求項33～37のいずれかの装置において、

周期 FSR_i は関数 $C_i(f)$ に対応する整数 N_i で光周波数幅FSRを除した光周波数幅とし、関数 $C_i(f)$ の繰返し周期である FSR_i で、FSR以下の任意の周波数幅を除した時の剰余を Δf とし、関数 $C_i(f)$ と $C_j(f)$ は、異なる周期 FSR_i と周期 FSR_j であるか又は周期 FSR_i と周期 FSR_j は同一値であり $C_j(f)$ は関数 $C_i(f)$ の繰返し周期である FSR_i でFSR以下の任意の周波数幅を除した時の剰余を Δf とし、関数 $C_i(f)$ の位相 $2\pi(\Delta f/FSR_i)$ が4分の π の $C_i'(f)$ である三角関数であり、

符号器と反転符号器は出力符号器として一体化され、復号器と反転復号器は入力復号器として一体化されていることを特徴とする反射型光通信装置。

[39] 請求項33～37のいずれかの装置において、

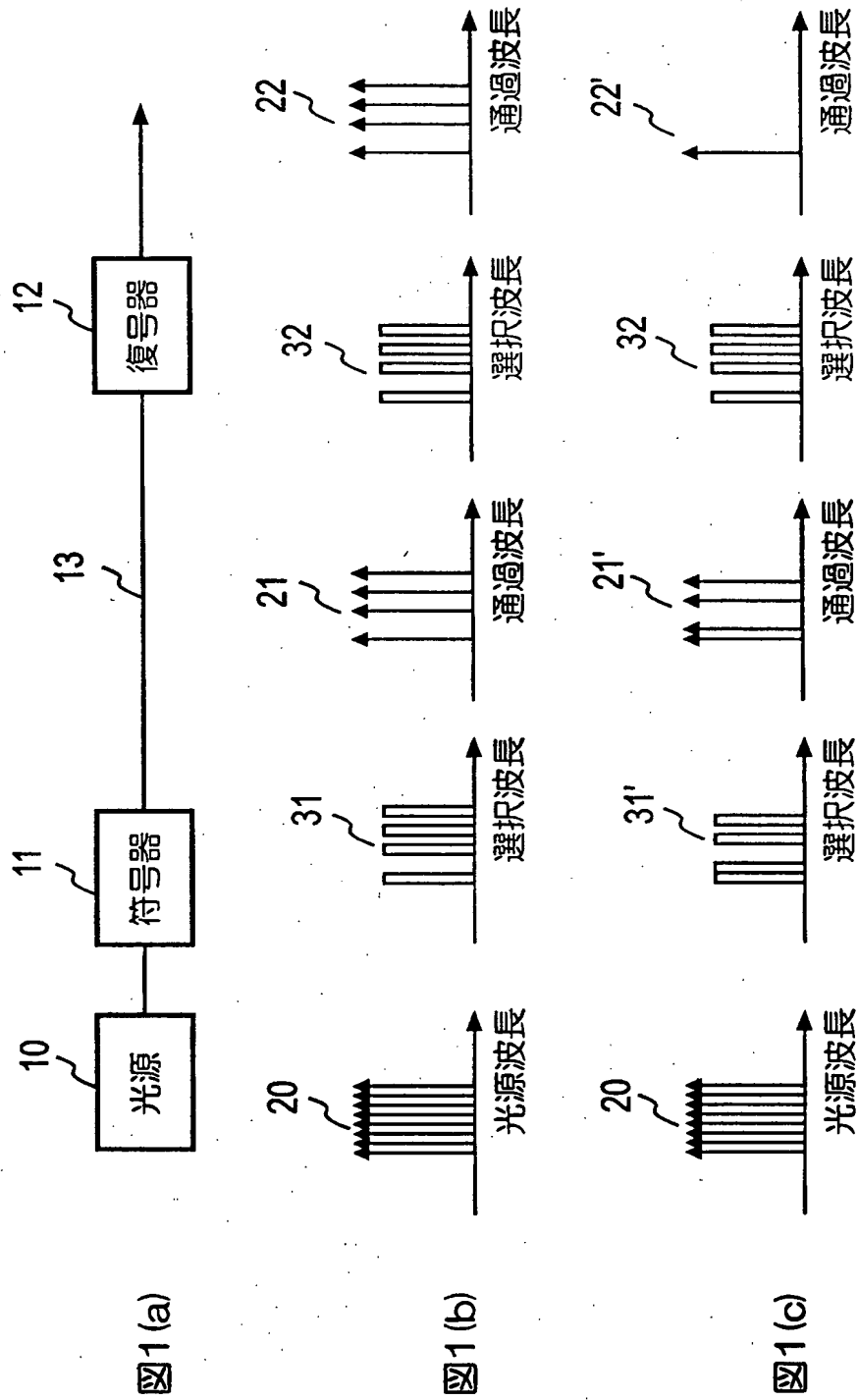
関数 $C_j(f)$ に対応する任意の整数 S_i と N_i とに、整数2を乗じた値 $L=2S_i \cdot N_i$ で光周波数幅FSRを分割してチップとし、関数 $C_i(f)$ は連続する S 個のチップを光強度1とし、それに続く S 個のチップを光強度0とすることを N_i 回繰り返す、又はその光強度を1とする連続 S 個のチップの光周波数位置を、所定値ずつ順次移動した関数であり、

符号器と反転符号器は出力符号器として一体化され、復号器と反転復号器は入力復号器として一体化されていることを特徴とする反射型光通信装置。

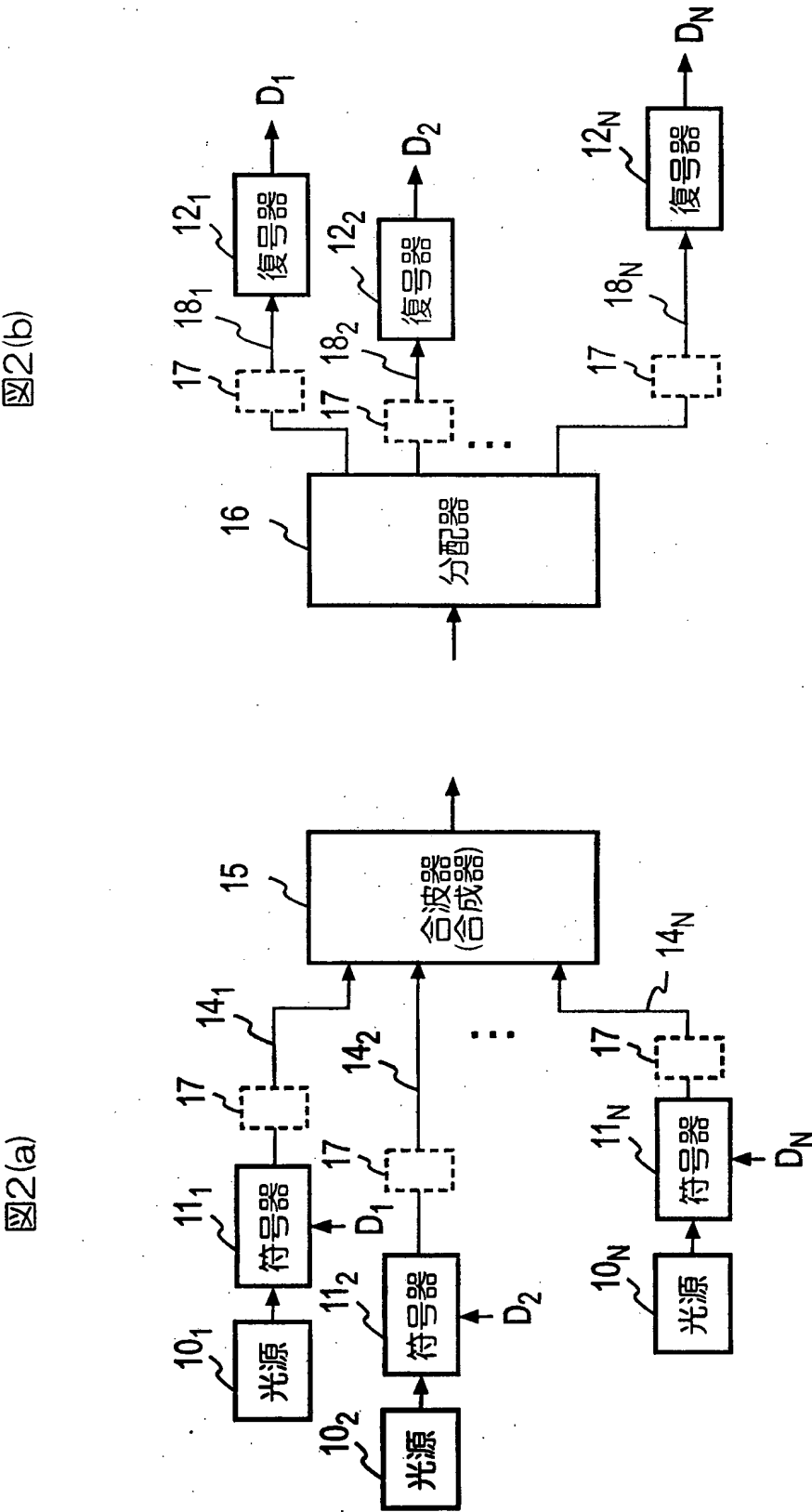
要 約 書

光源の光周波数の校正を不要とし、伝送帯を大きくすることなく、多くの符号を用いることを可能とする。光源の光周波数幅をFSRとし、全ての符号はその符号長をFSRとし、かつ互いに直交性を持たせる。第 n 光符号信号の各光強度周波数特性を $C_n(f) = (1 + \cos(2\pi sf / \text{FSR} + r\pi / 2)) / 2$ (s は1ー最大符号数／2までの整数、 $r=0$ 又は1)として光符号信号間に直交性を与える。あるいは光符号信号を構成するチップ配列に連続する光周波数チップを順次割り当て、各チップ“1”の光周波数を出力し、例えば2次のアダマール符号語(0101)や(0011)を繰り返し連続させた連結符号の光ろ波特性のフィルタとし、これに光源光を通して光符号信号とする。符号化光周波数領域31と復号化光周波数領域32は光源光周波数のドリフト範囲をカバーするようにする。図13中の ΔF_1 、 ΔF_2 は光源光周波数のドリフトである。

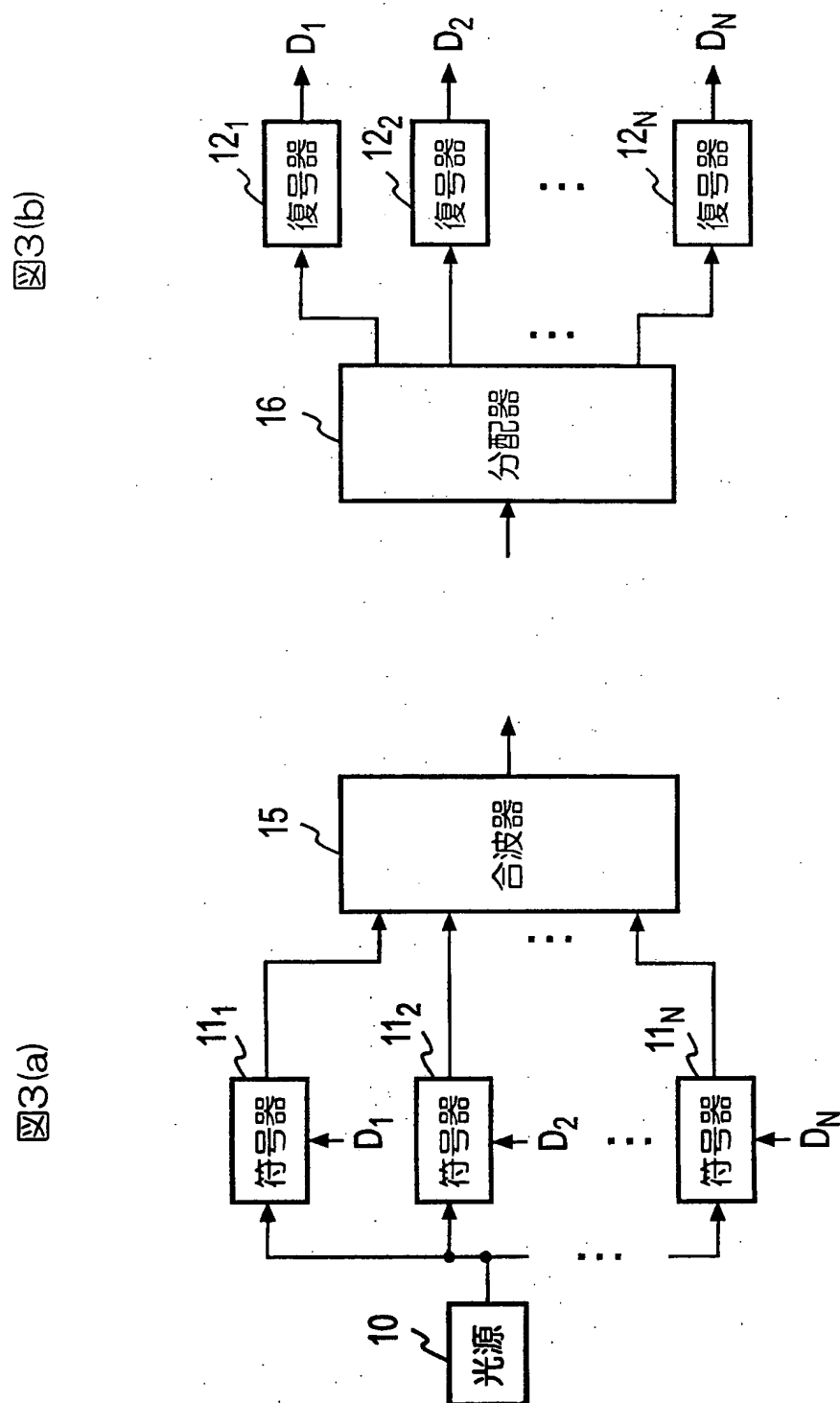
[図1]



[図2]

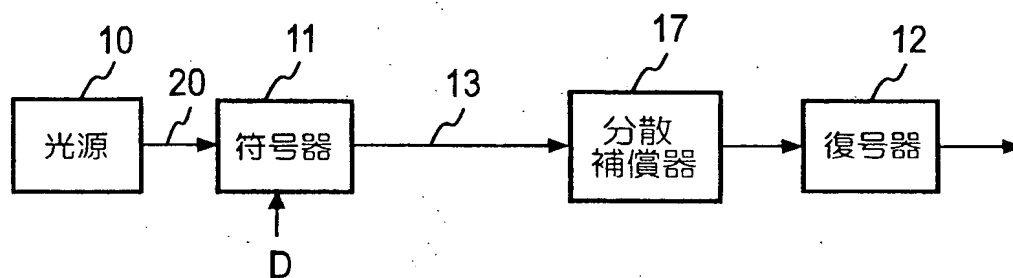


[図3]



[図4]

図4



[図5]

図5(a)

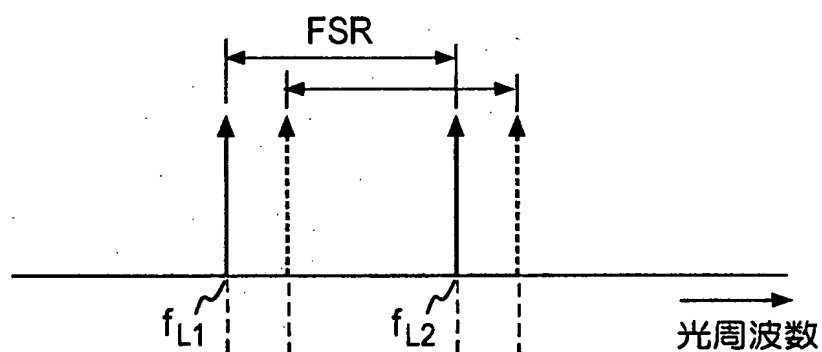


図5(b)

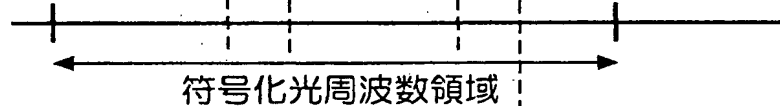
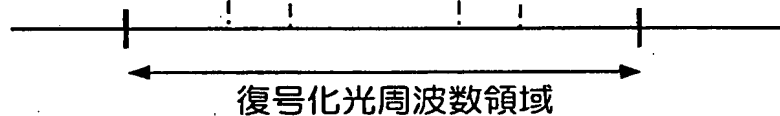


図5(c)



[図6]

図6(a)

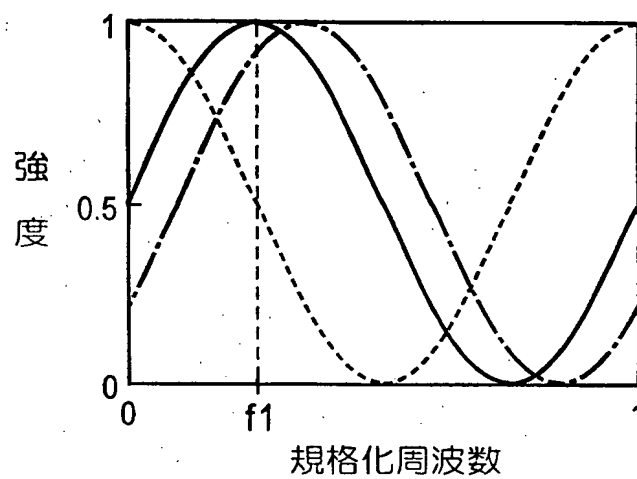


図6(b)

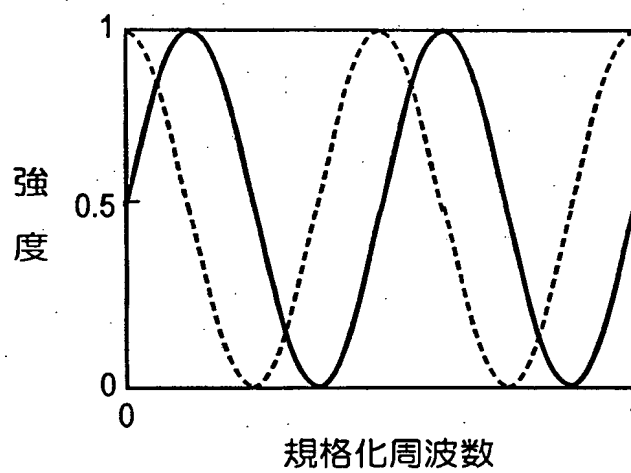
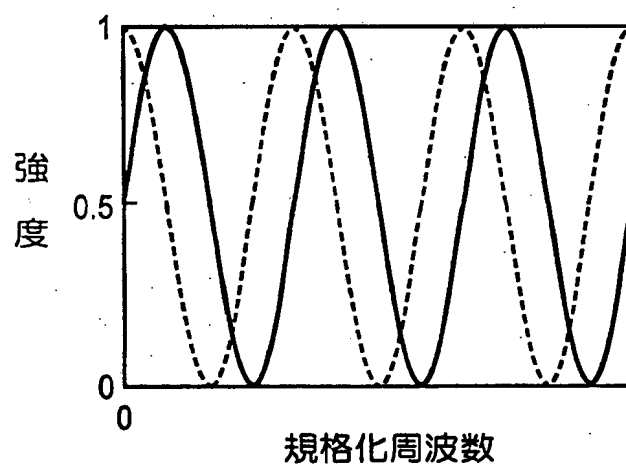
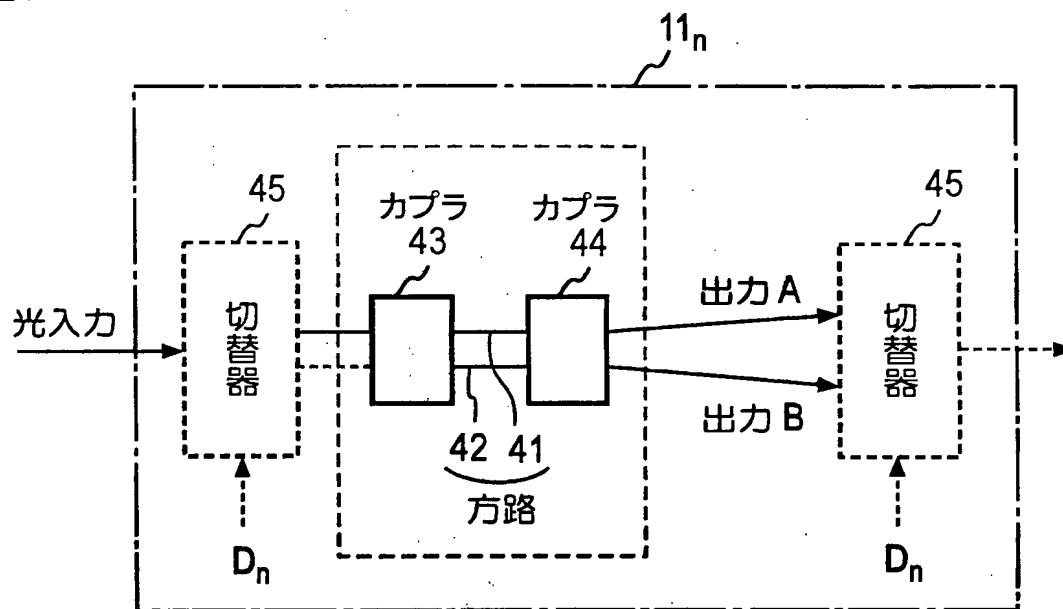


図6(c)



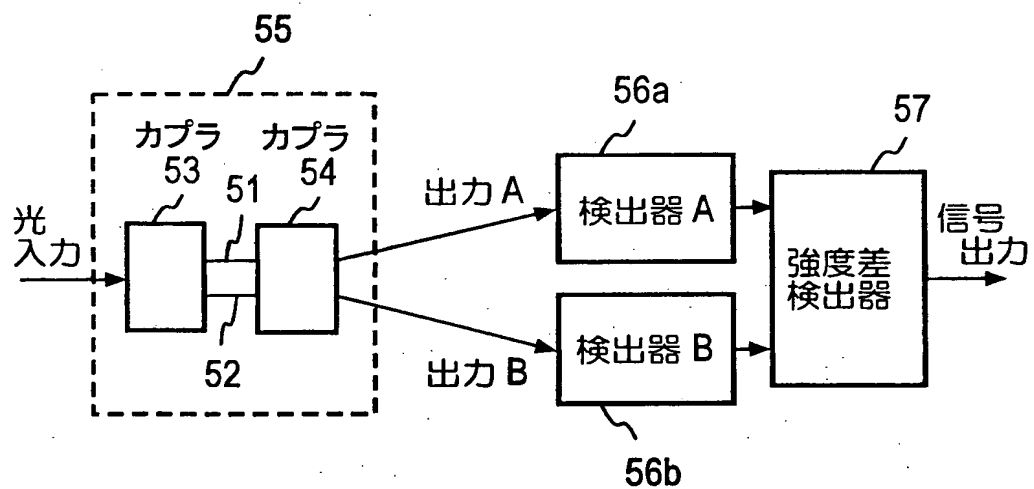
[図7]

図7



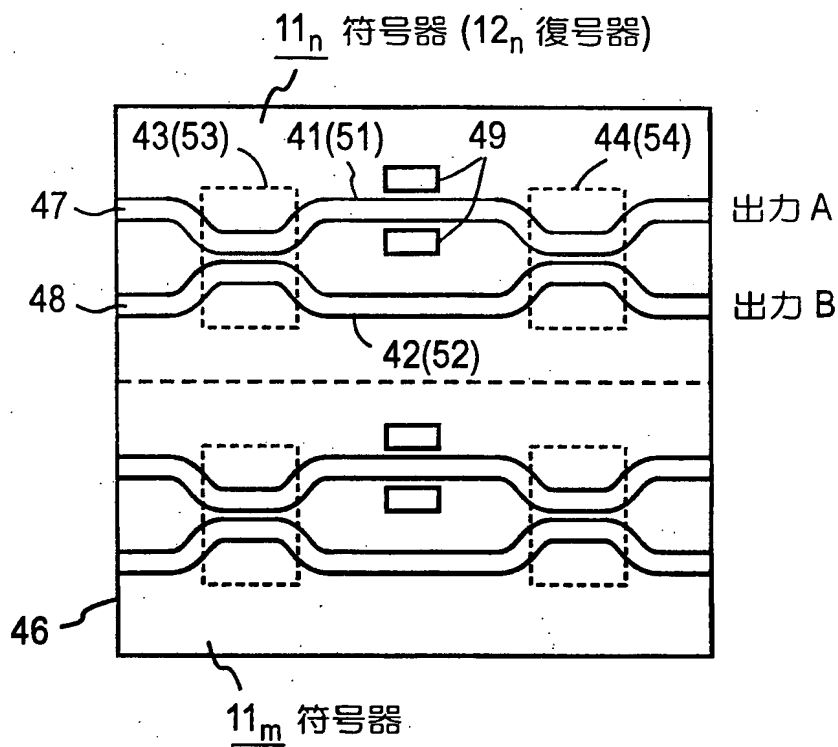
[図8]

図8



[図9]

図9



[図10]

図10(a)

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

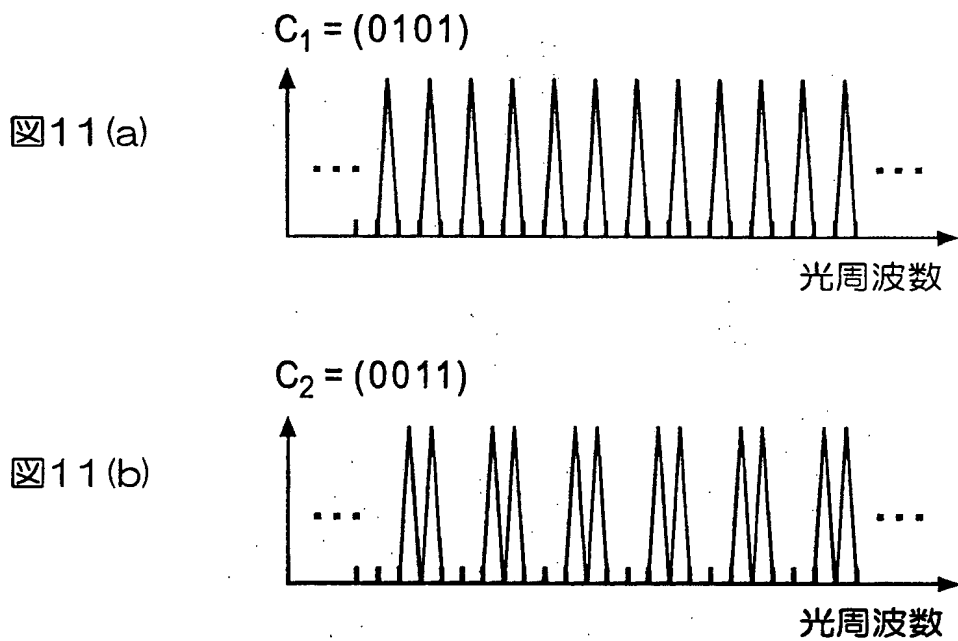
図10(b)

$$H_2 = \begin{pmatrix} H_1 & H_1 \\ H_1 & H_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

図10(c)

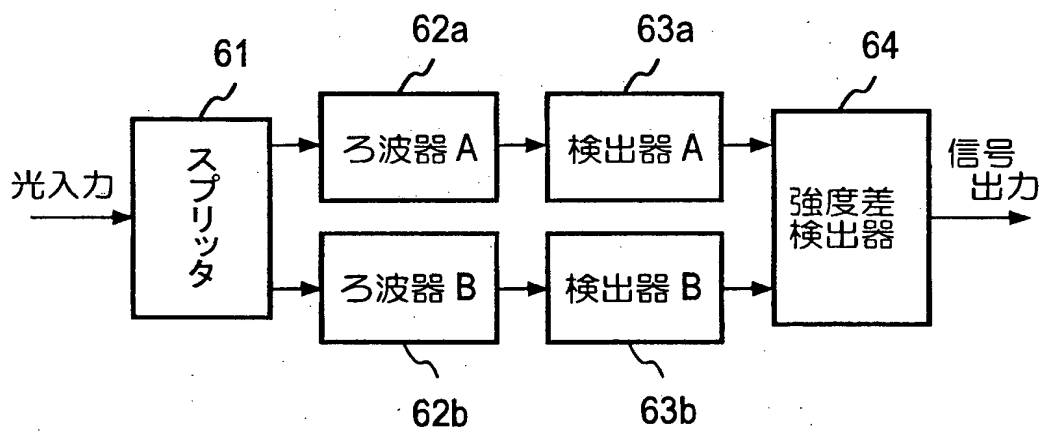
$$H_n = \begin{pmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & H_{n-1} \end{pmatrix} \quad (n > 1)$$

[図11]

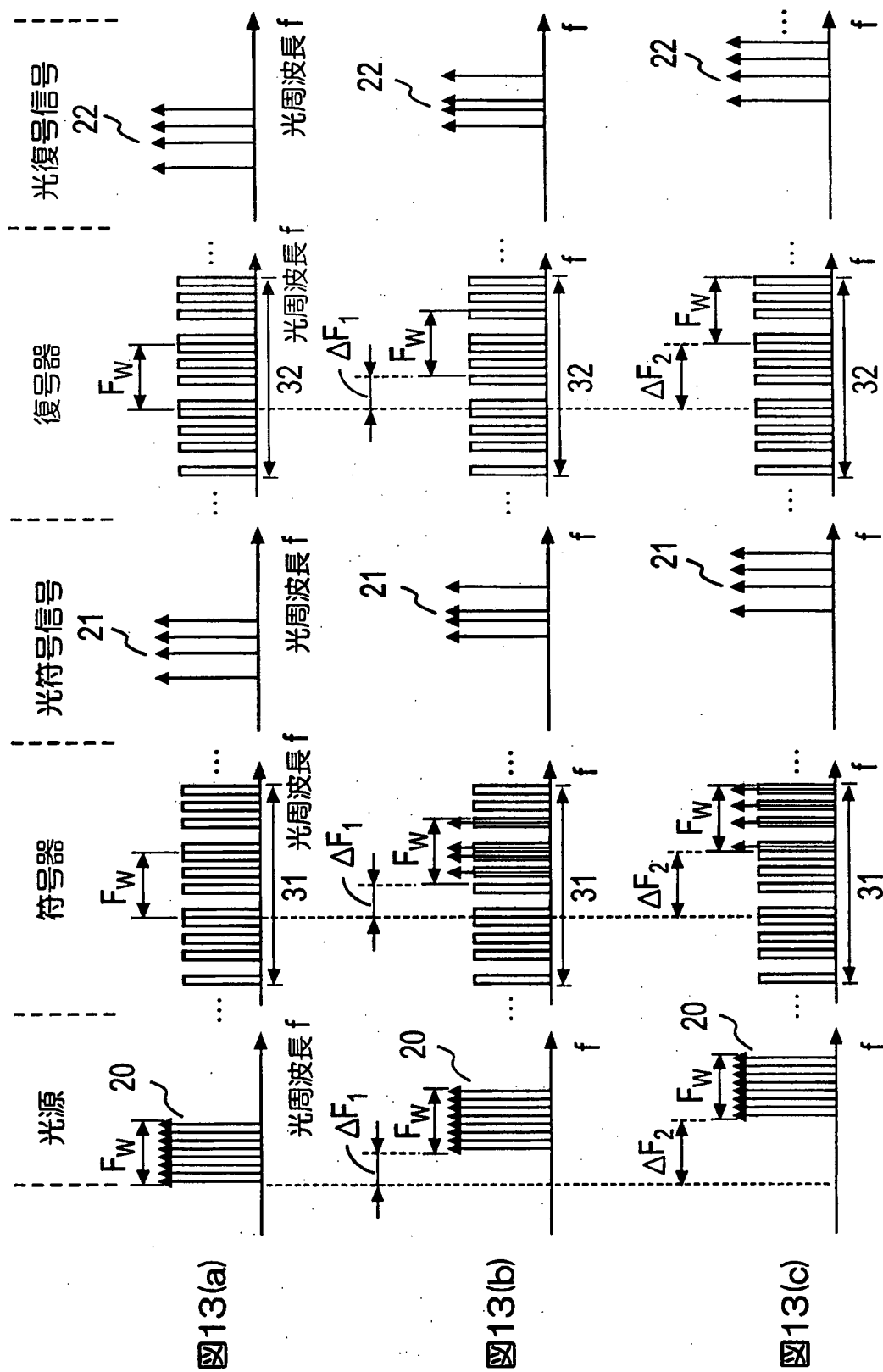


[図12]

図12

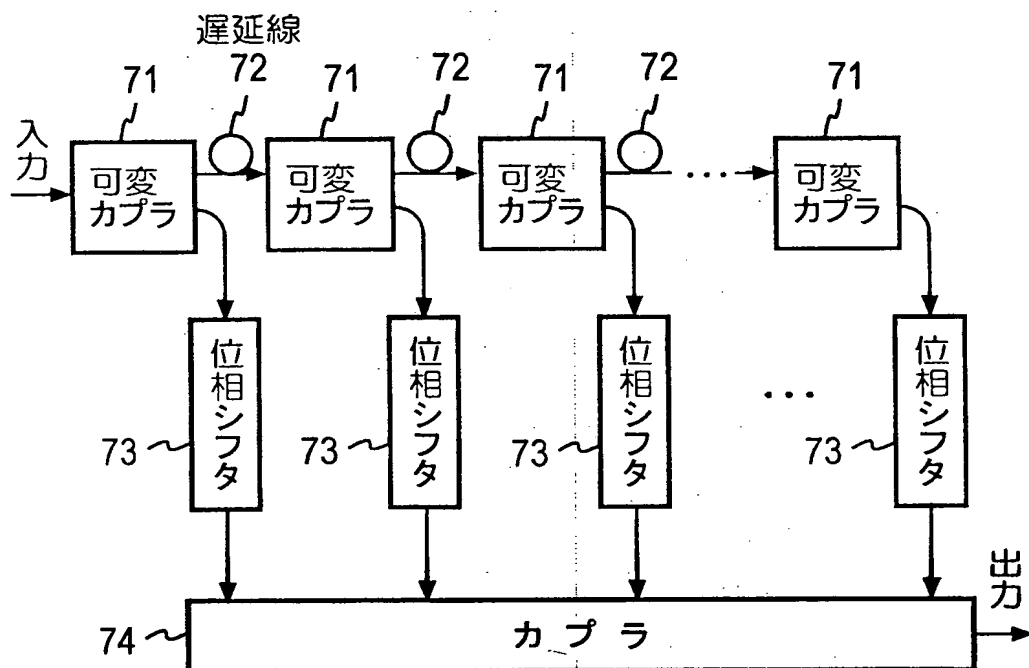


[図13]



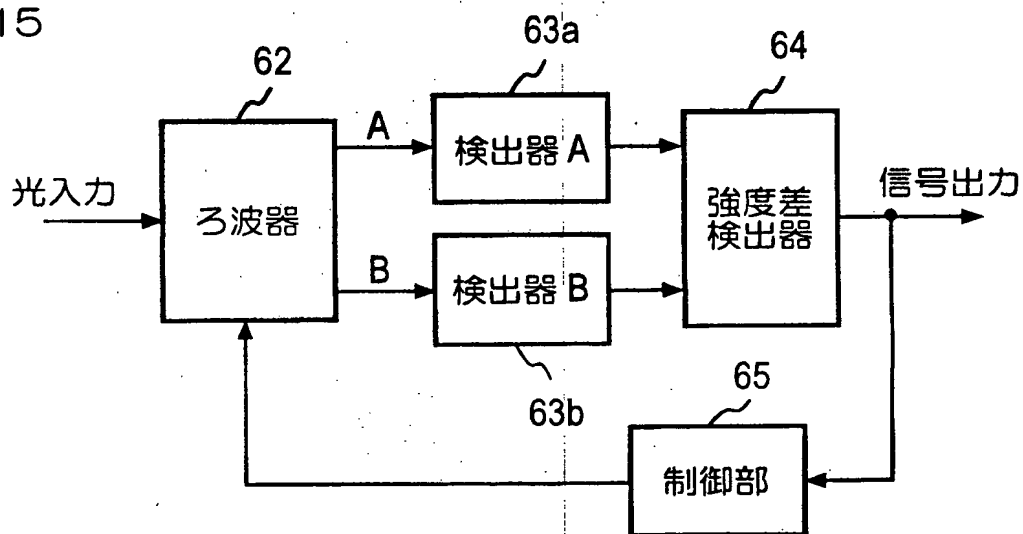
[図14]

図14



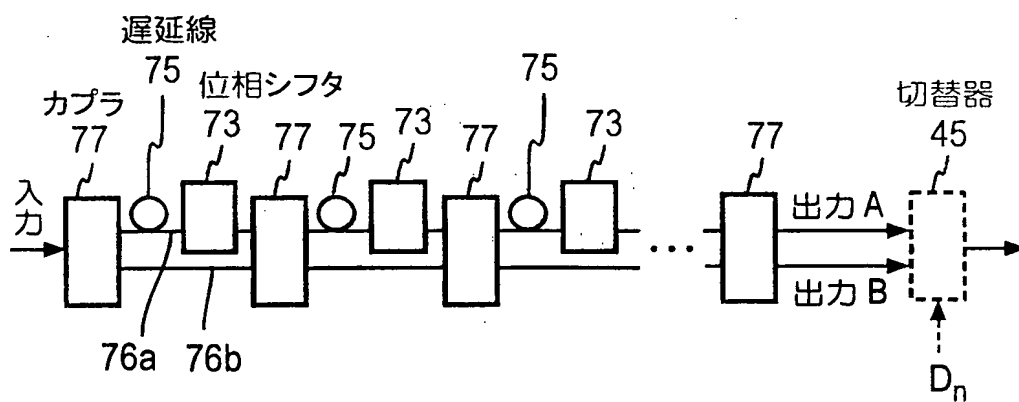
[図15]

図15



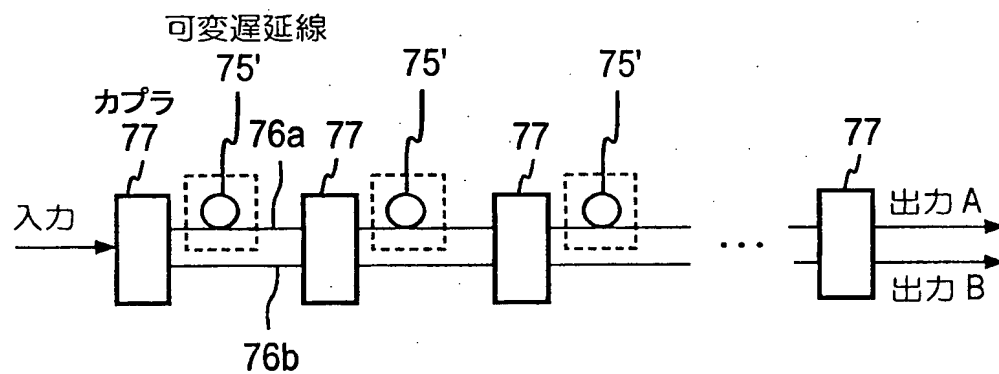
[図16]

図16



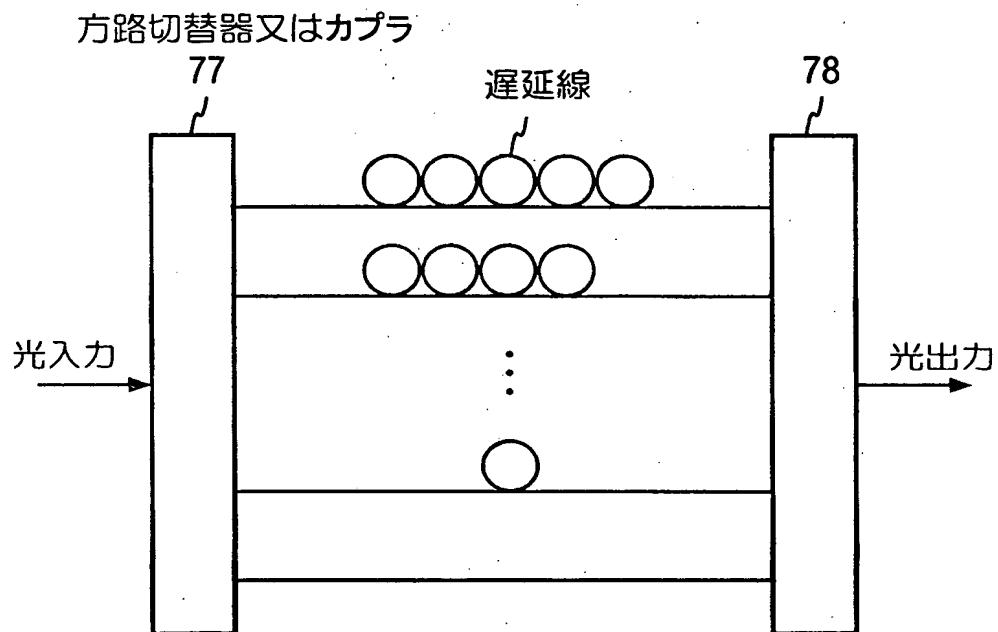
[図17]

図17



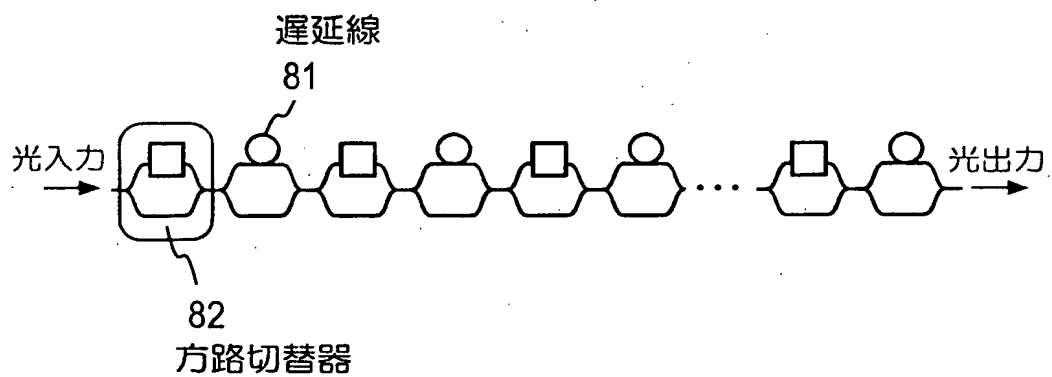
[図18]

図18

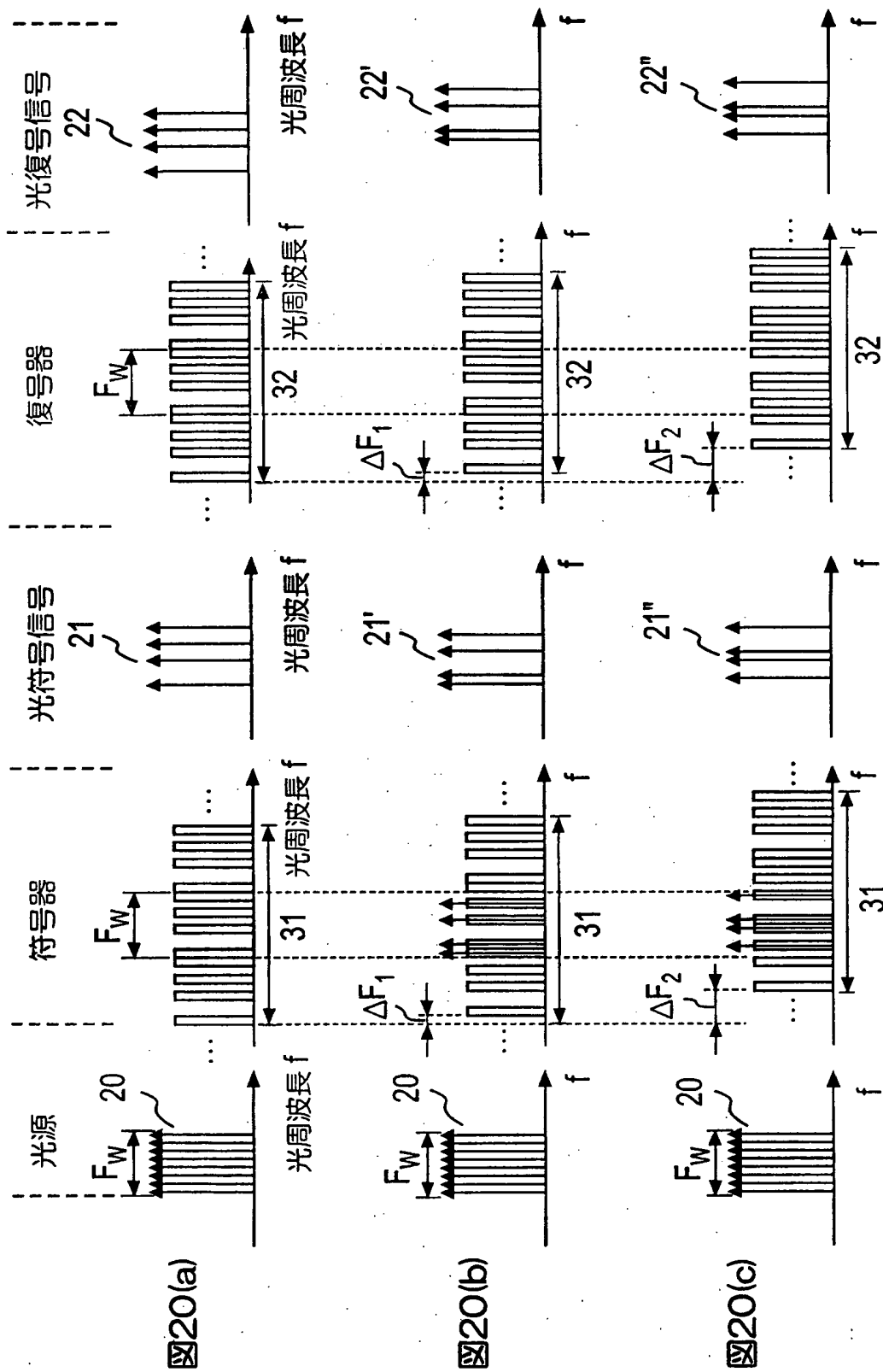


[図19]

図19

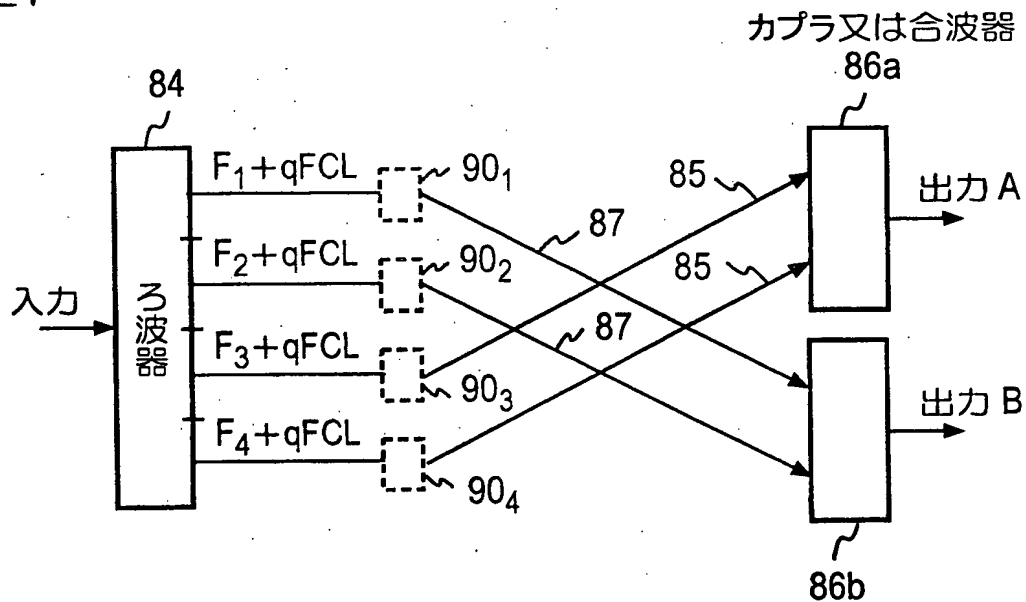


[图20]



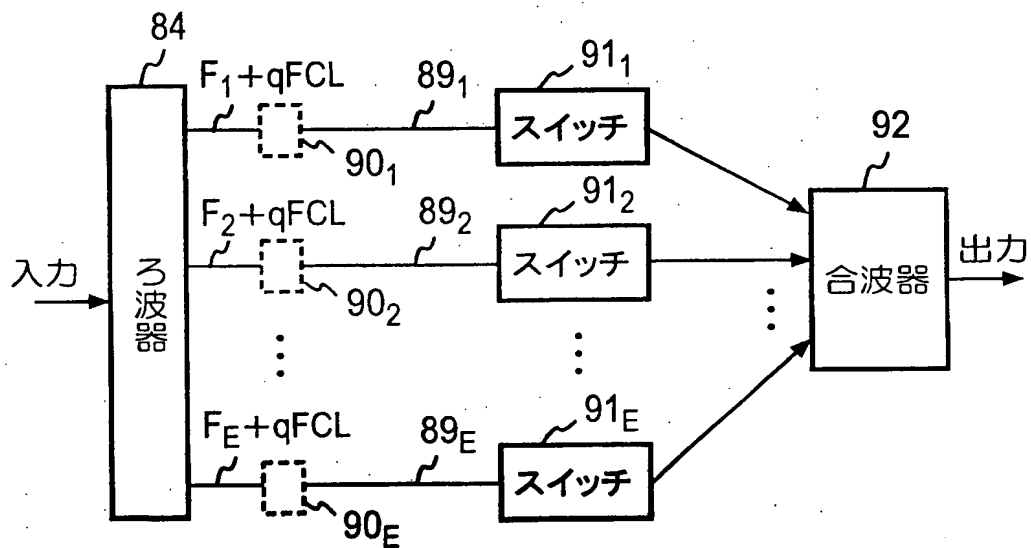
[図21]

図21



[図22]

図22



[図23]

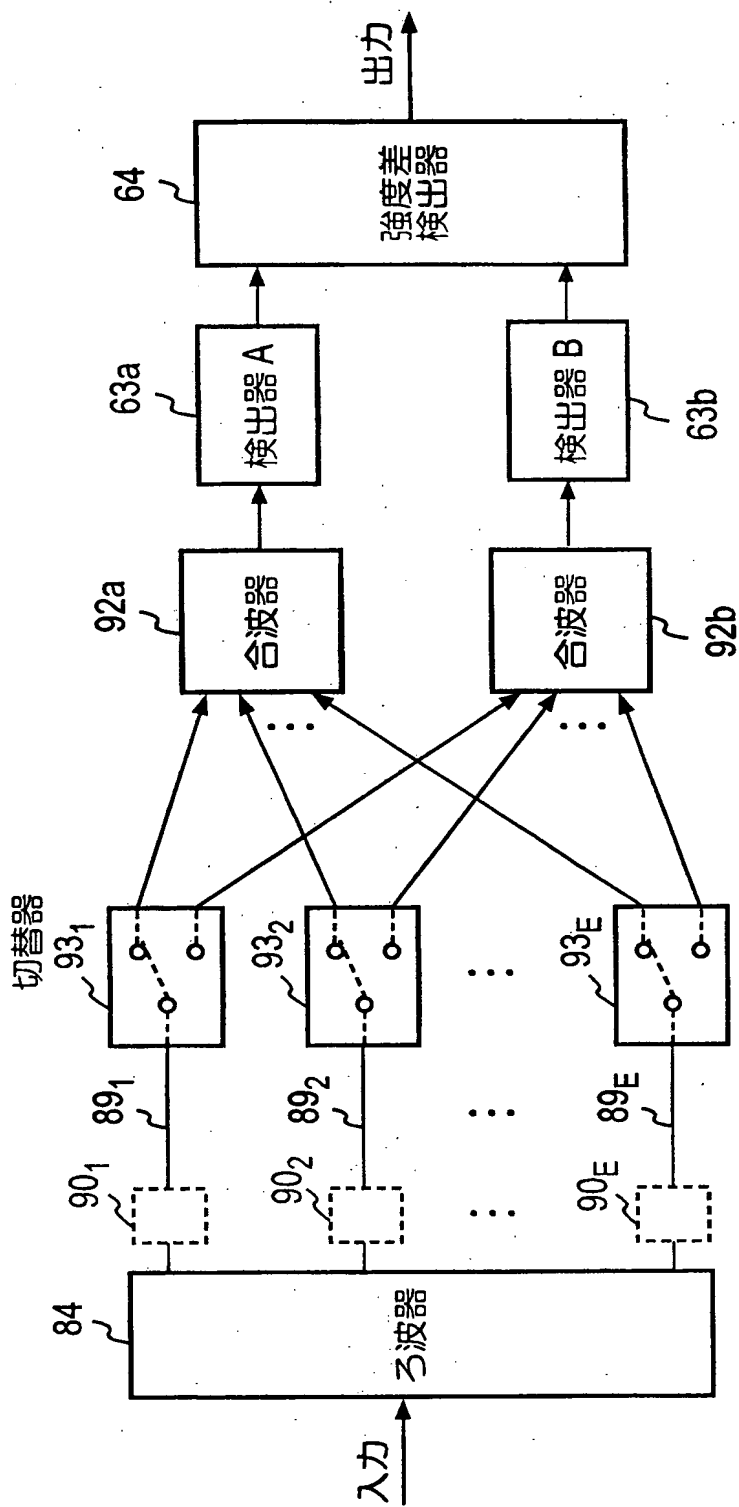
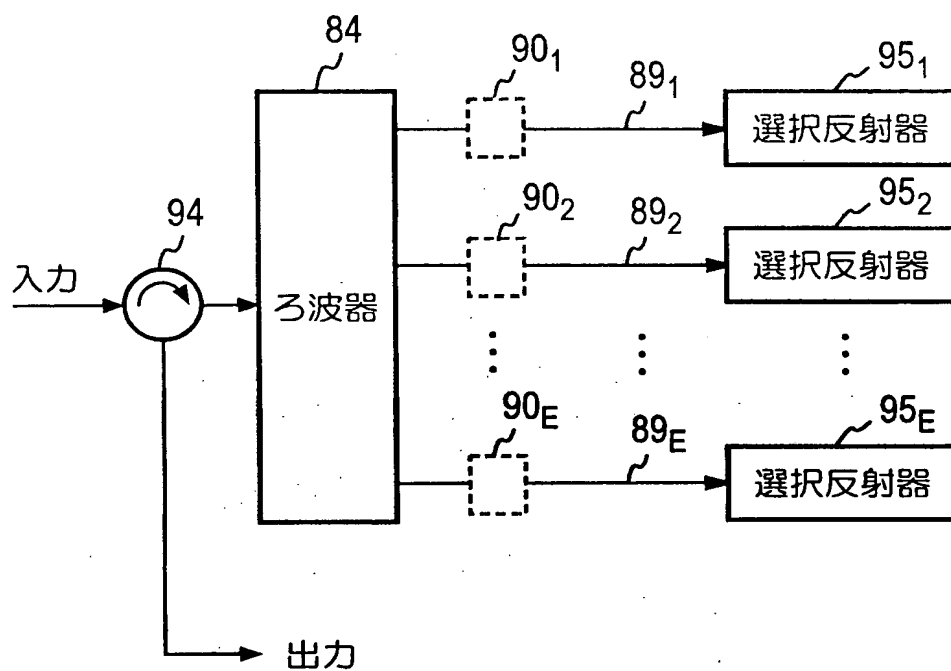


図23

[図24]

図24



[図25]

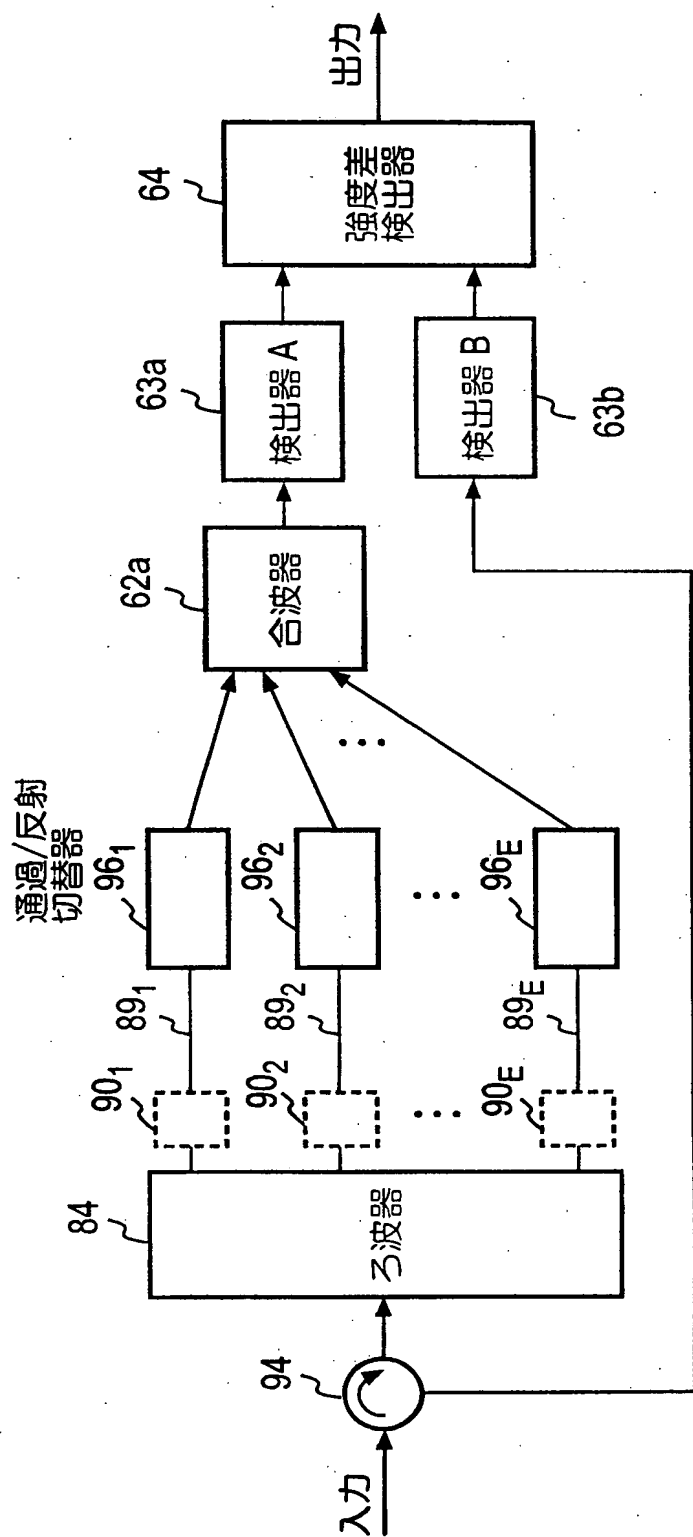


図25

[図26]

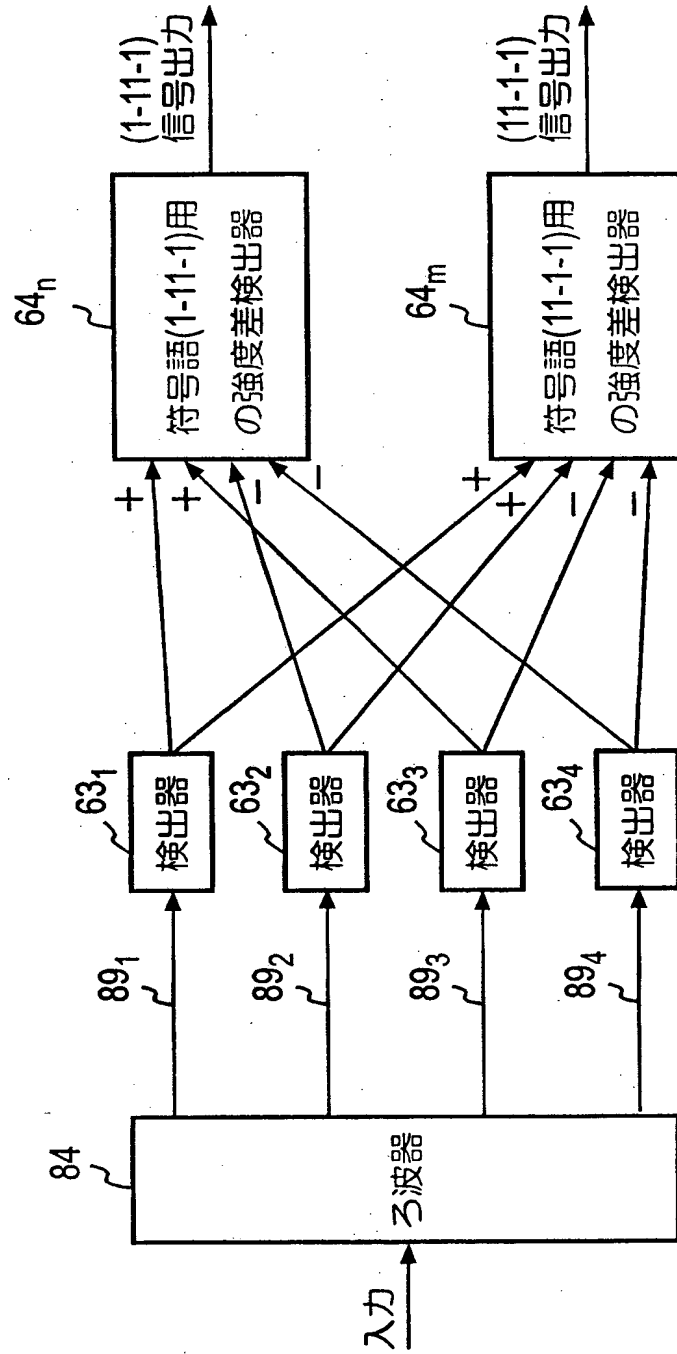


図26

[図27]

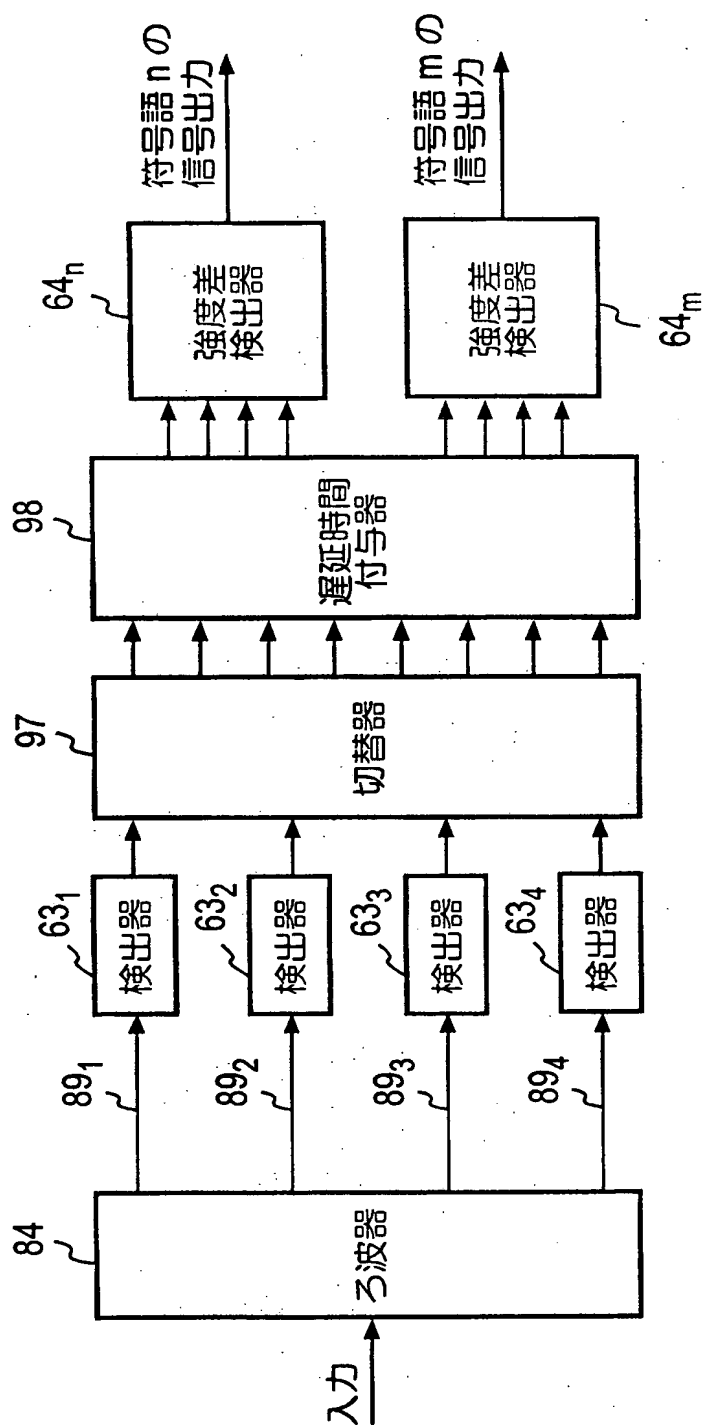
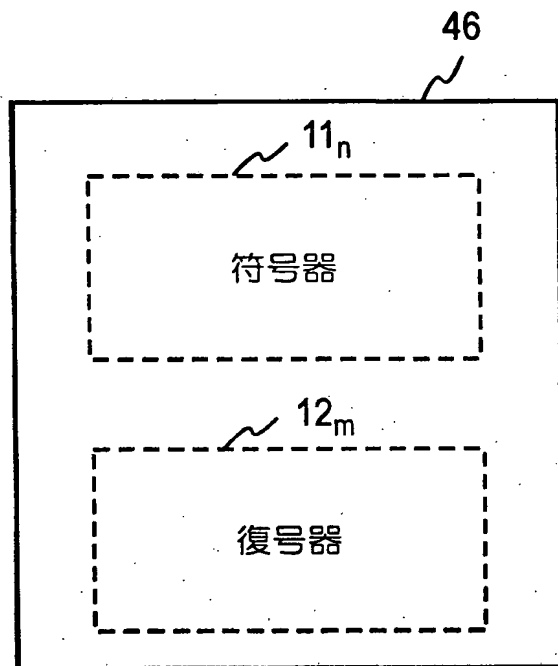


図27

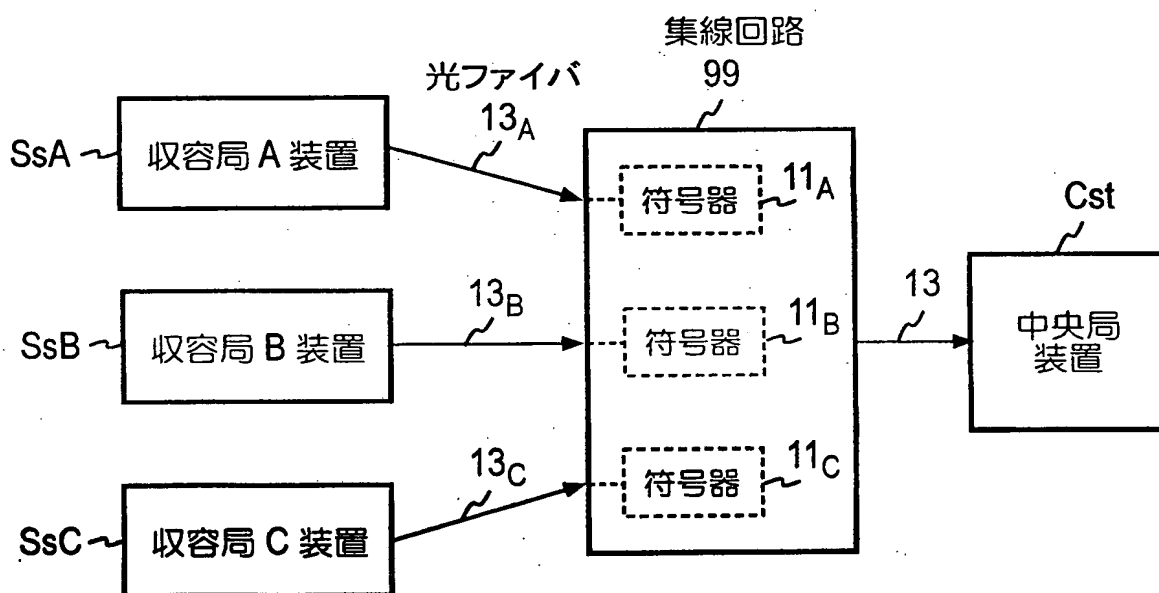
[図28]

図28



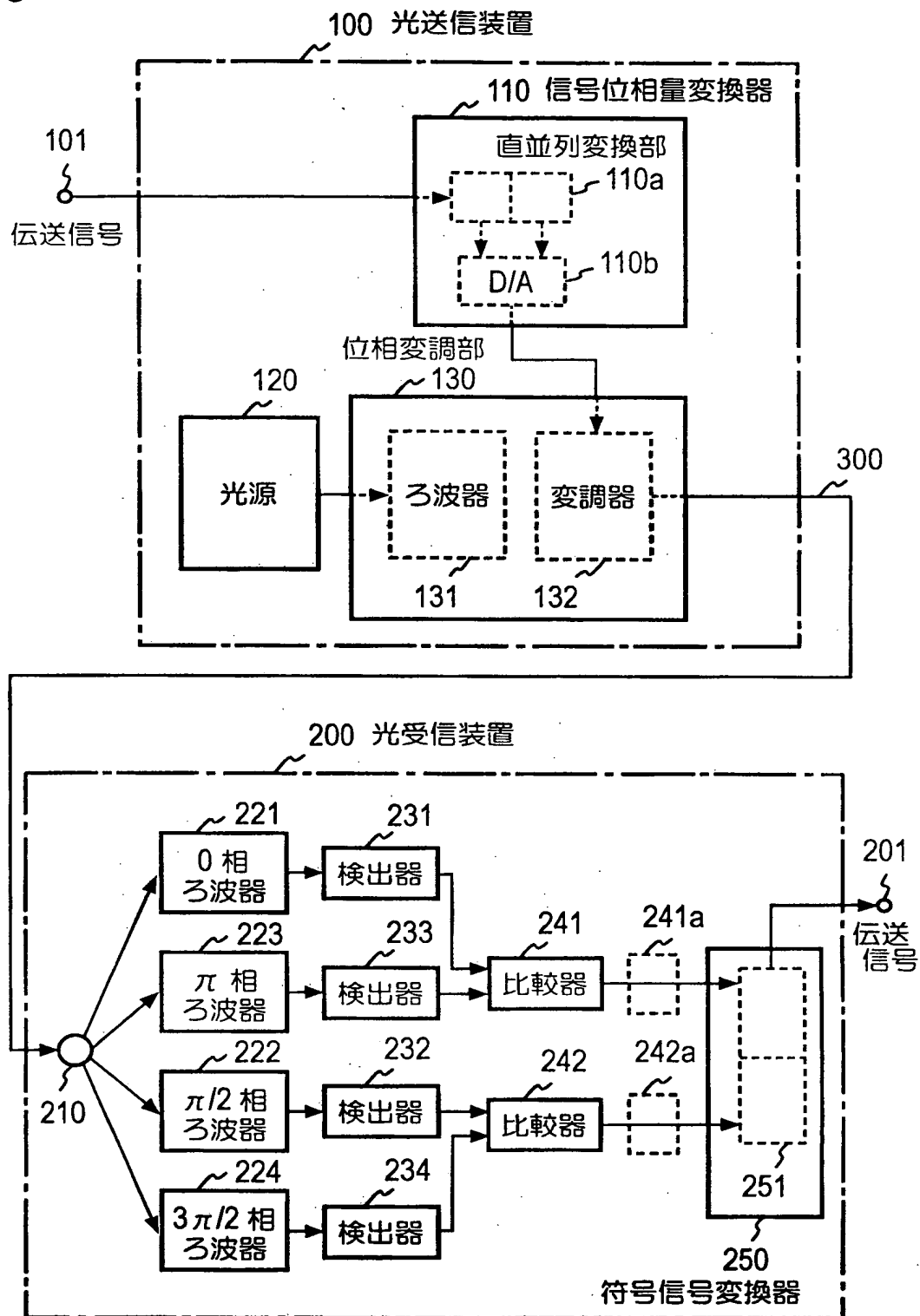
[図29]

図29



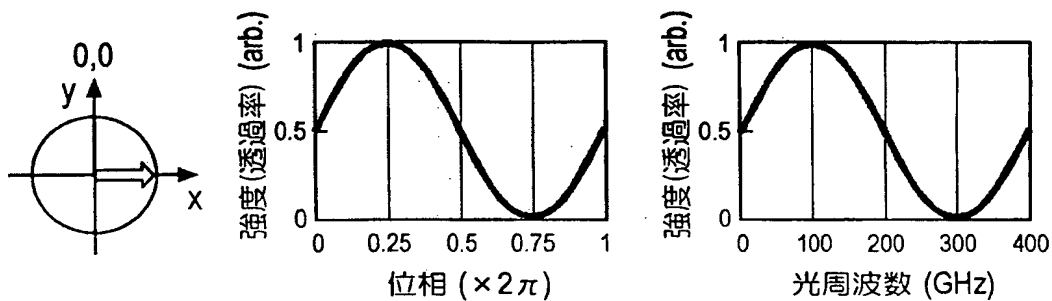
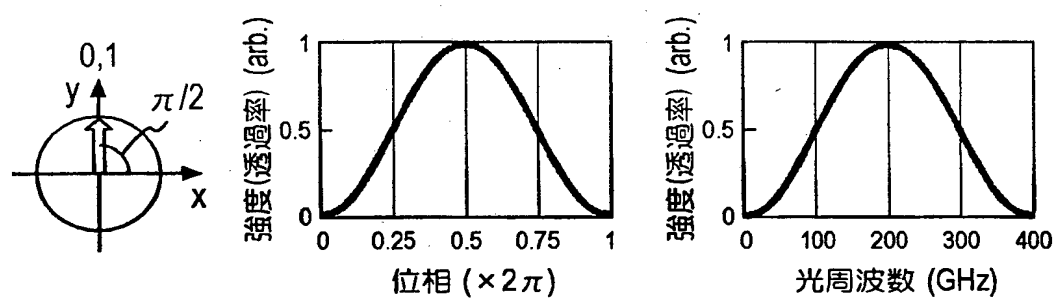
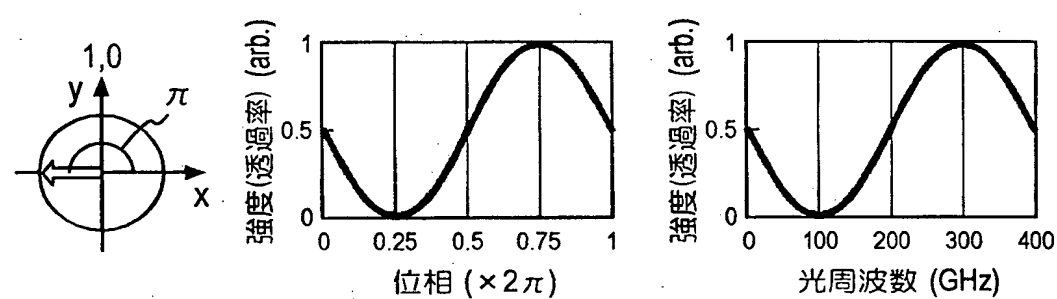
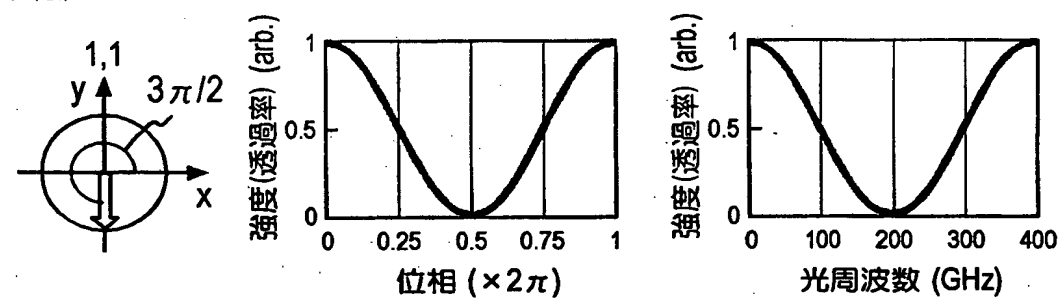
[図30]

図30



[図31]

図31(a) 位相 0

図31(b) 位相 $\pi/2$ 図31(c) 位相 π 図31(d) 位相 $3\pi/2$ 

[図32-1]

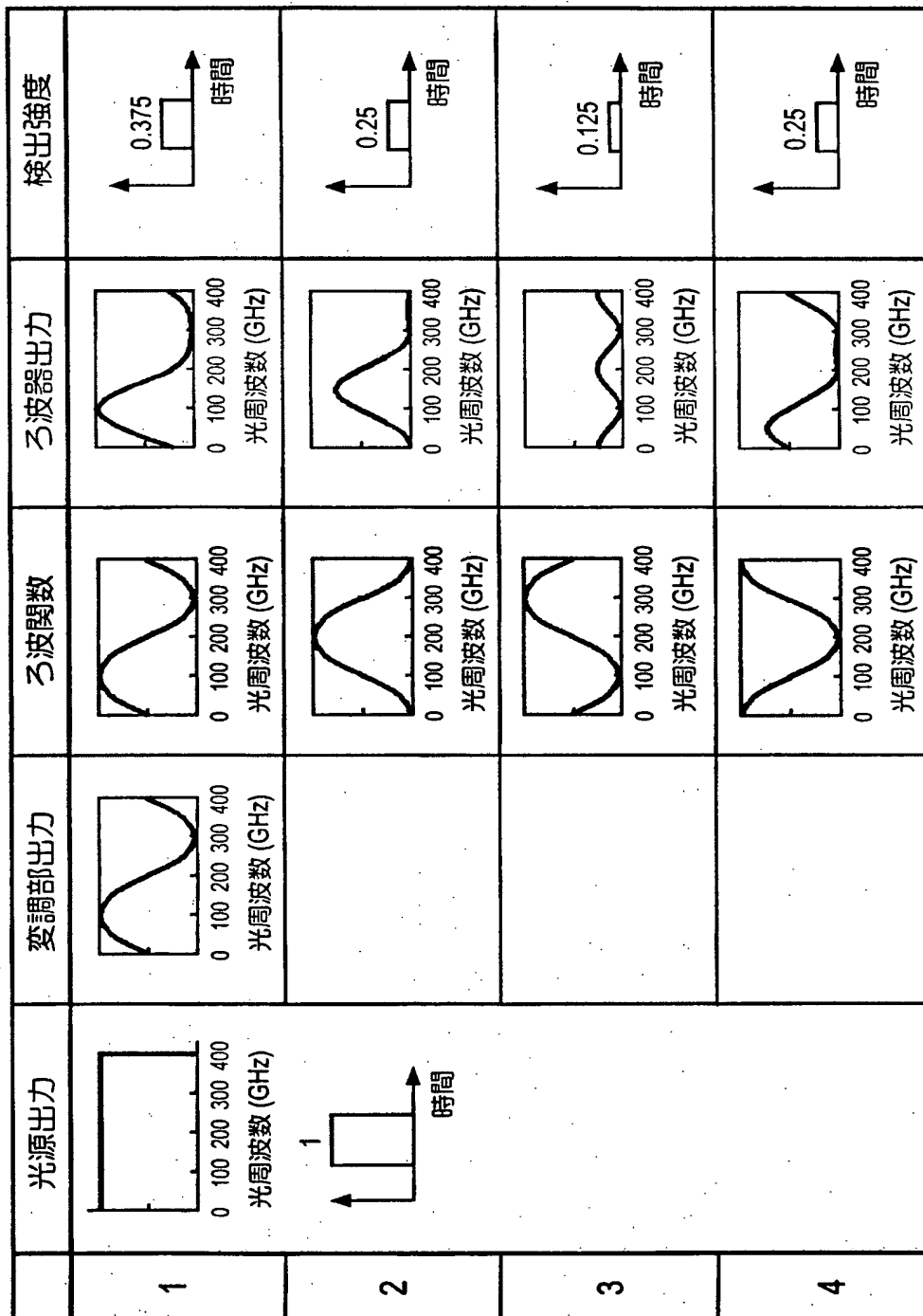


図32-1

[図32-2]

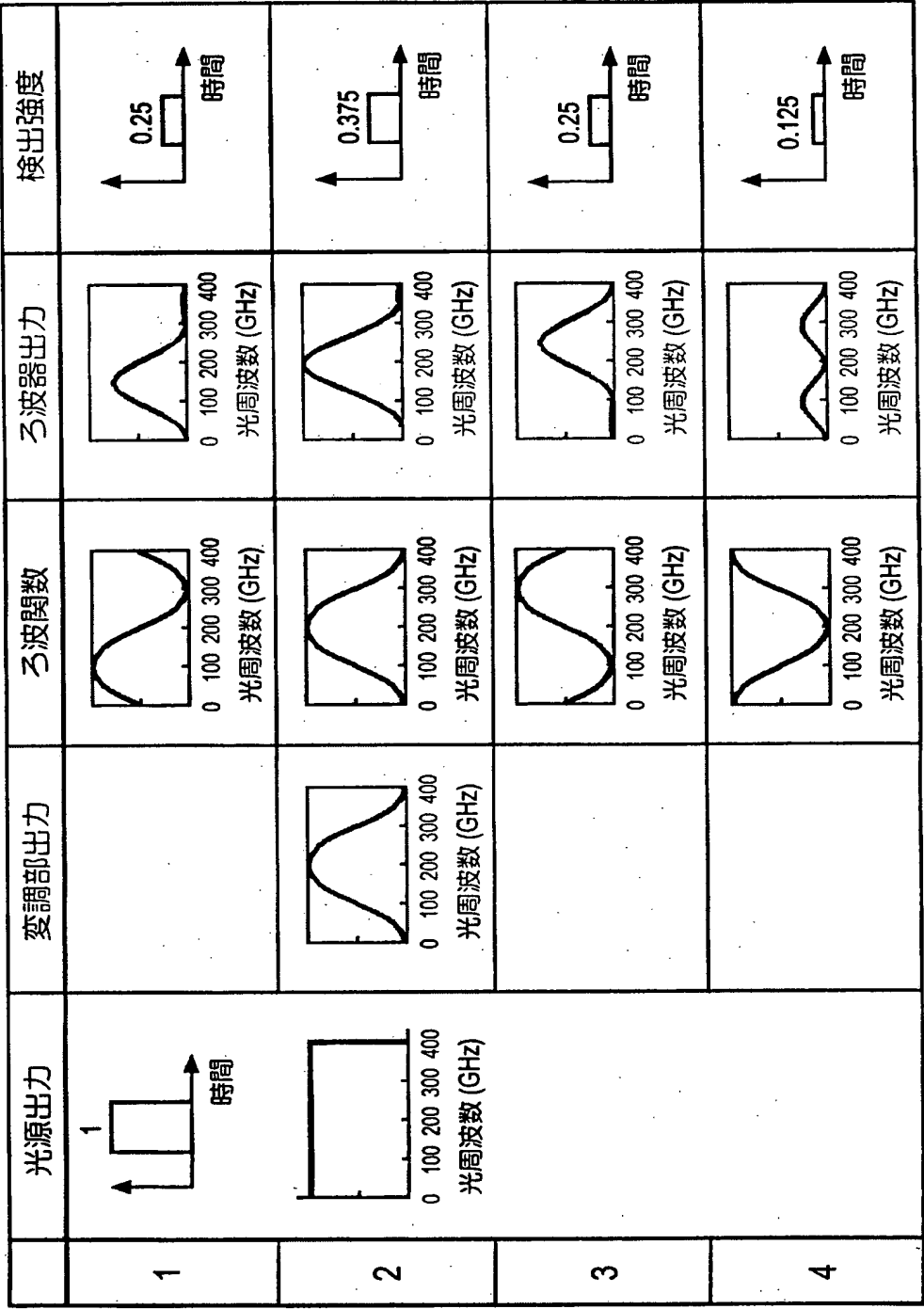


図32-2

[図32-3]

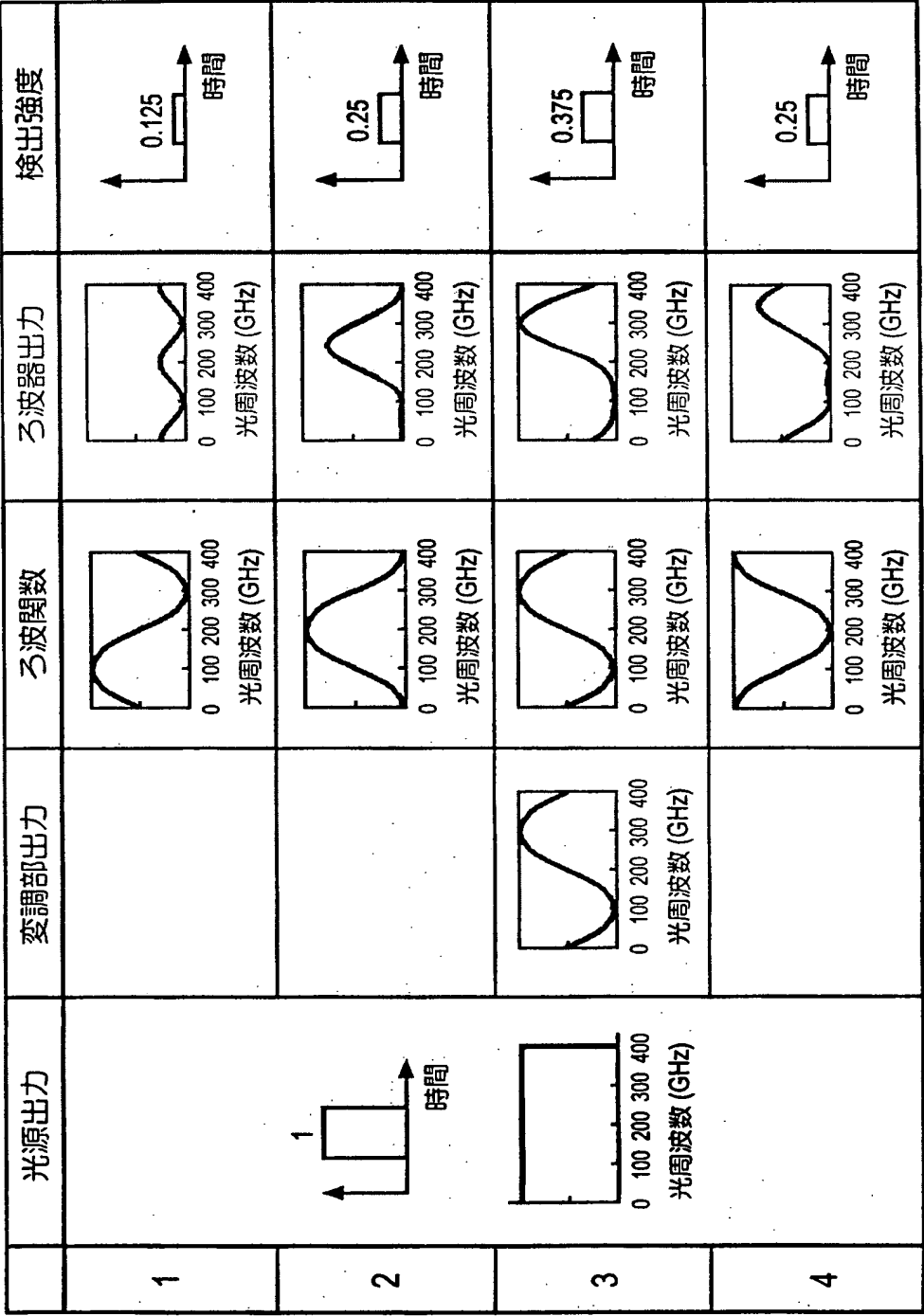


図32-3

[図32-4]

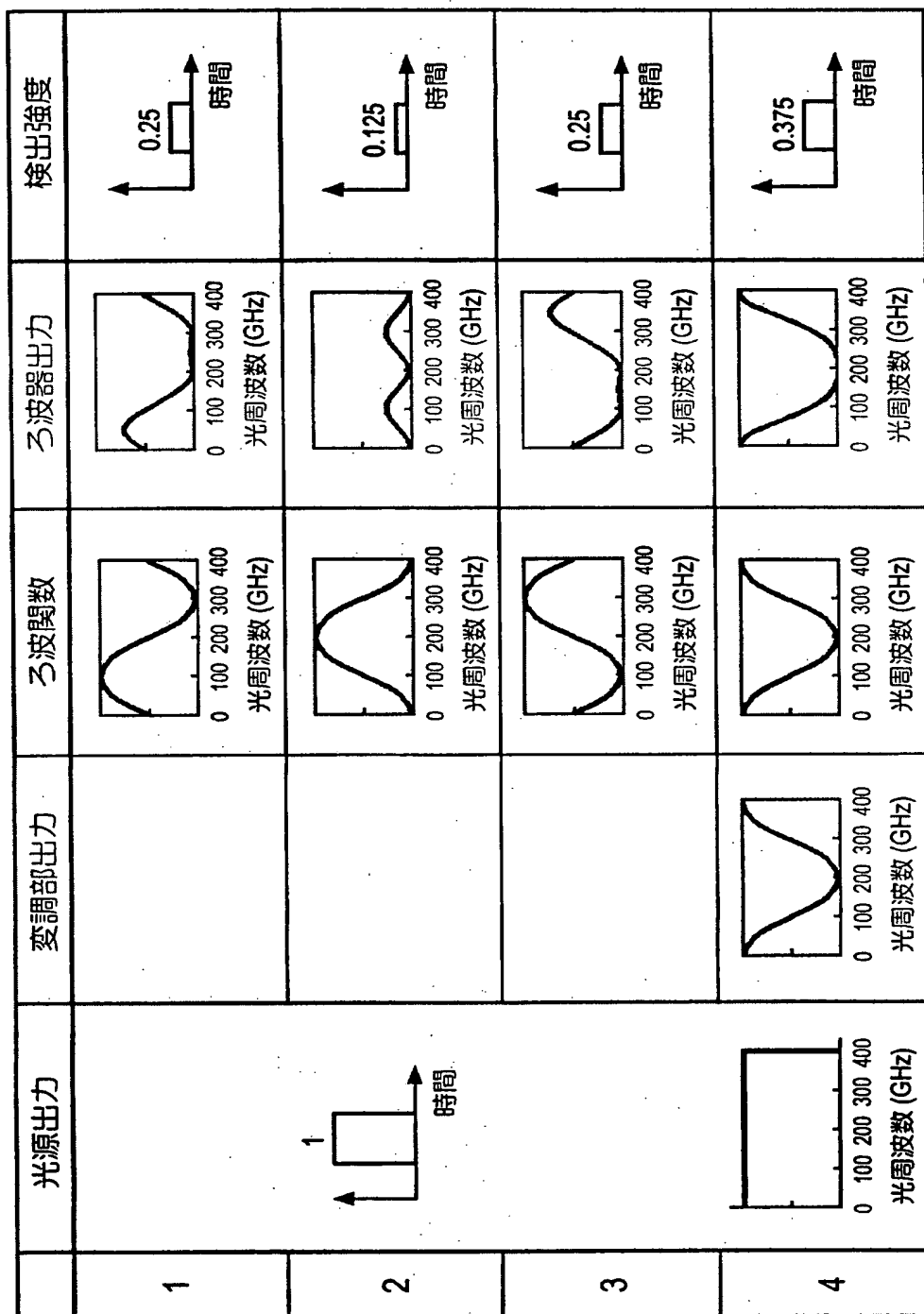
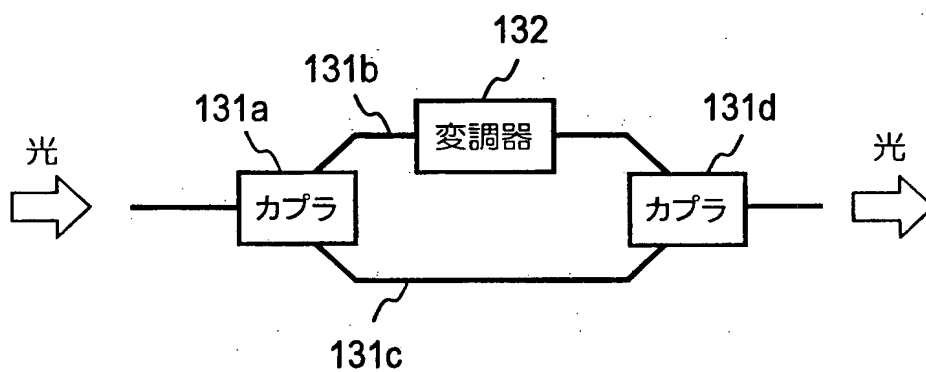


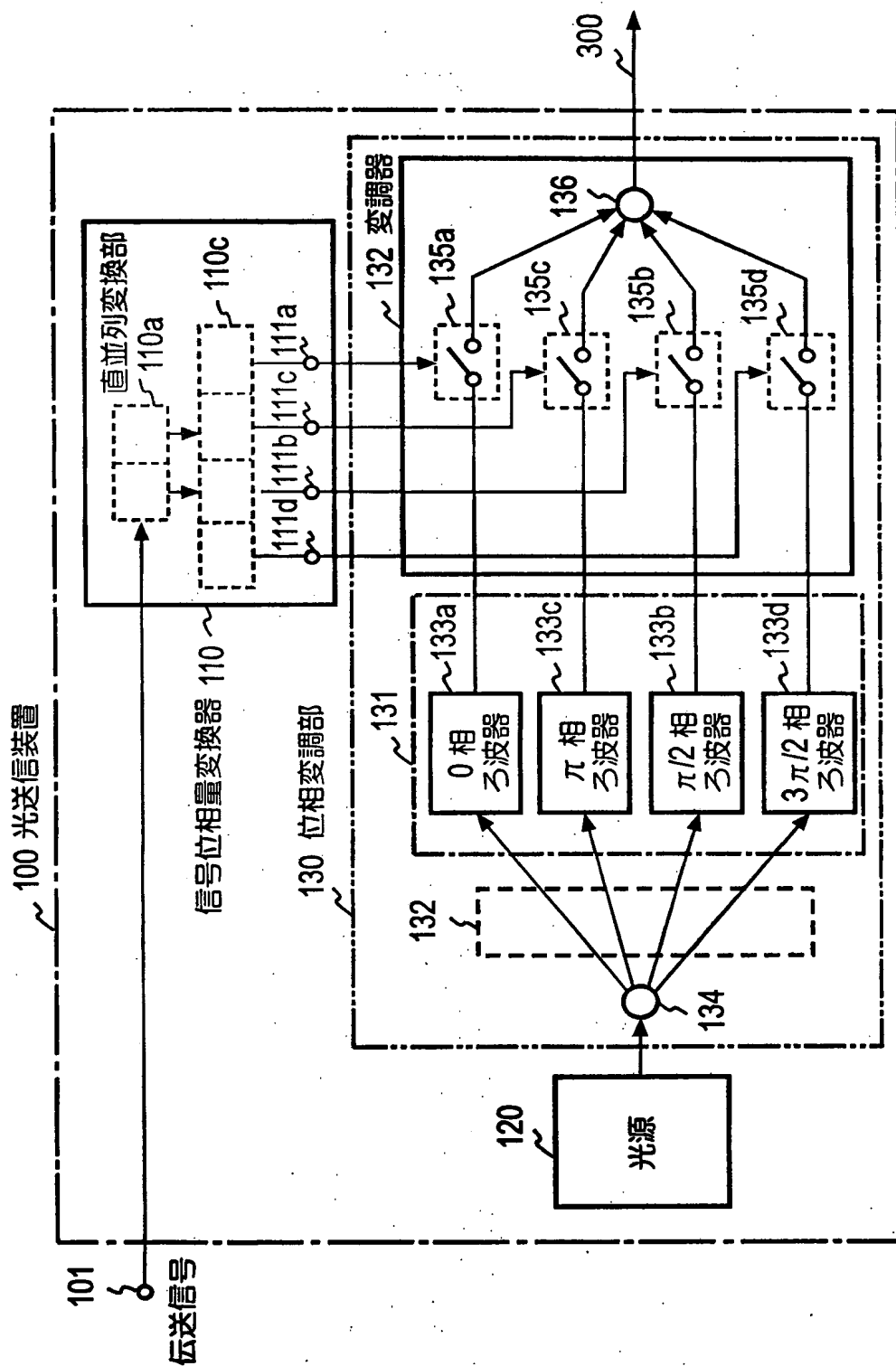
図32-4

[図33]

図33



[図34]



34

[図35]

図35(a)

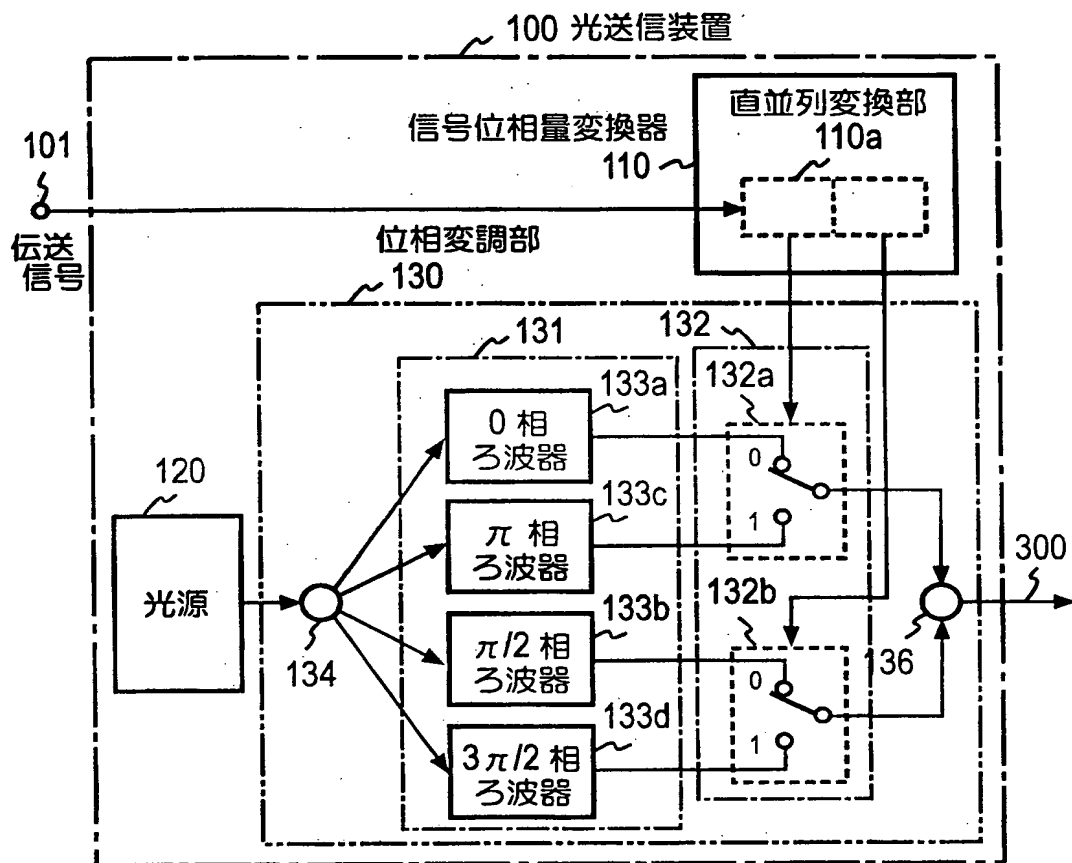
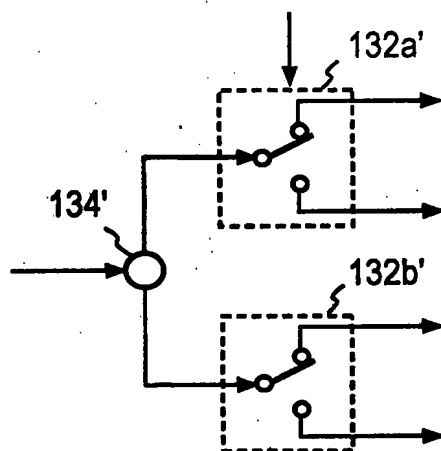


図35(b)



[図36]

図36(a)

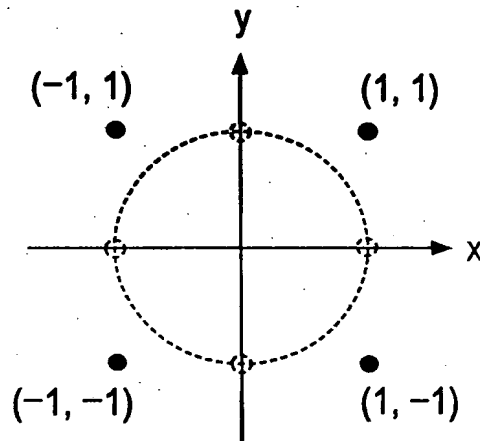


図36(b)

データ組	座標点	選択ろ波位相
0, 0	1, 1	$0, \pi/2$
0, 1	1, -1	$0, 3\pi/2$
1, 0	-1, 1	$\pi, \pi/2$
1, 1	-1, -1	$\pi, 3\pi/2$

[図37-1]

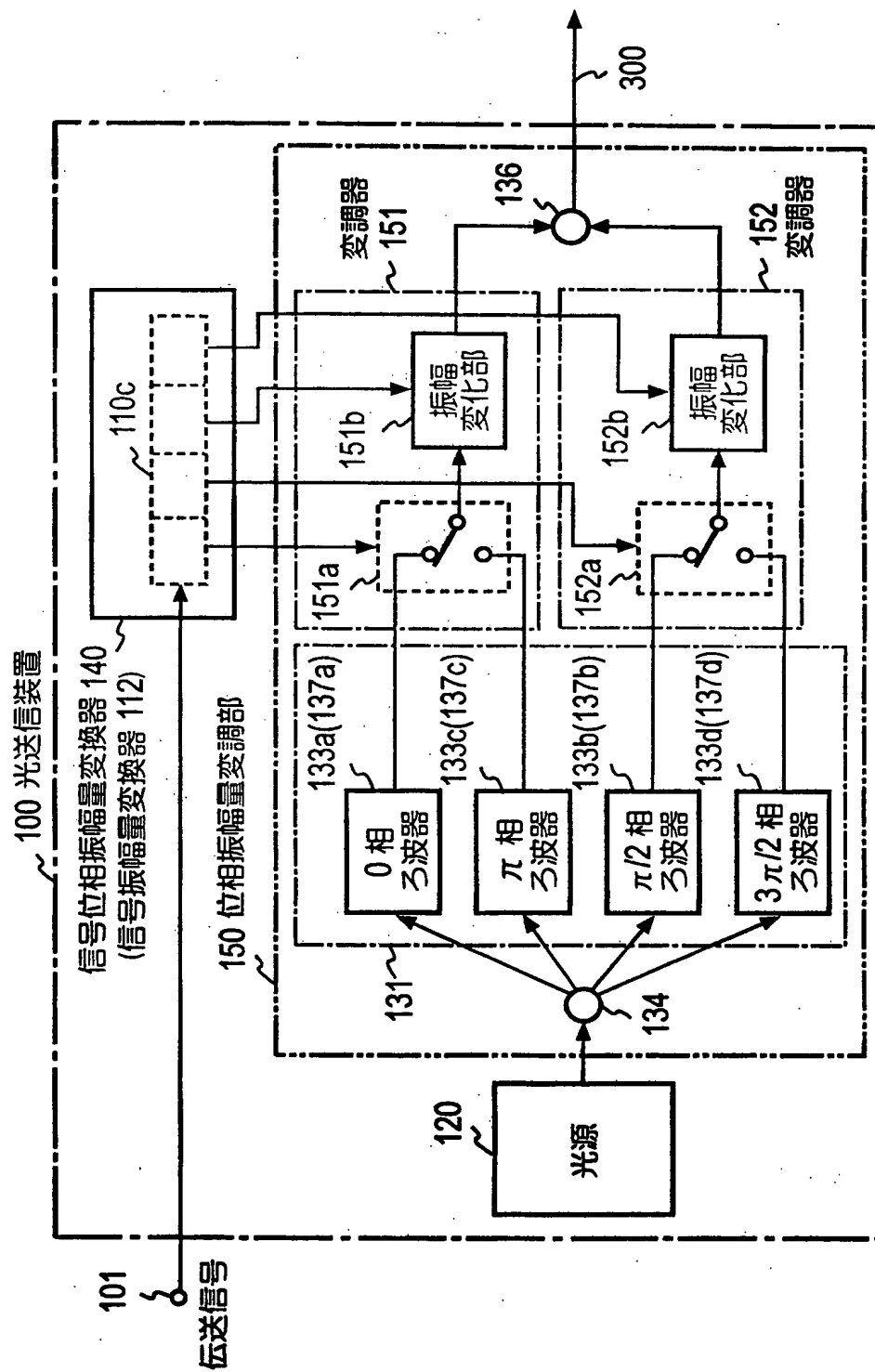


図37-1

[図37-2]

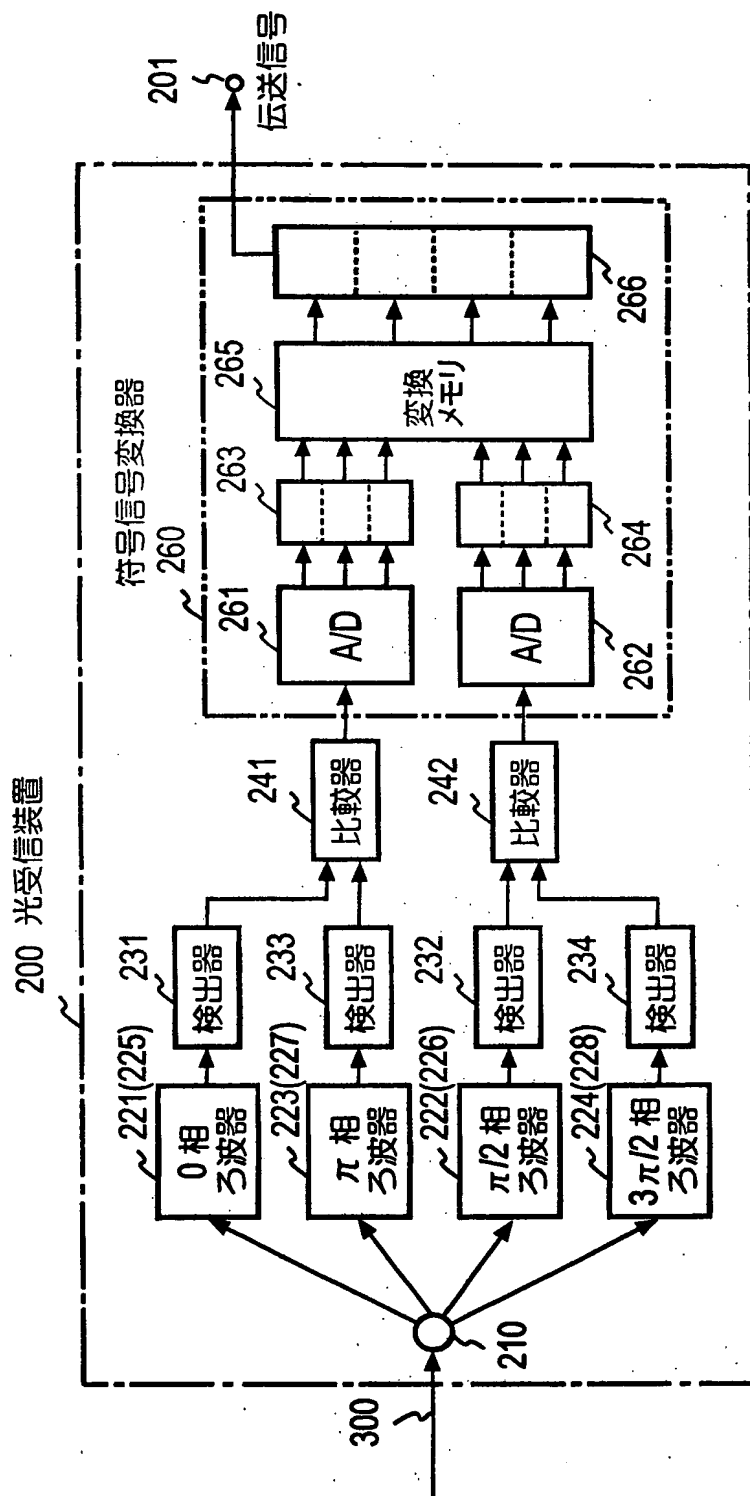


図37-2

[図38]

図38(a)

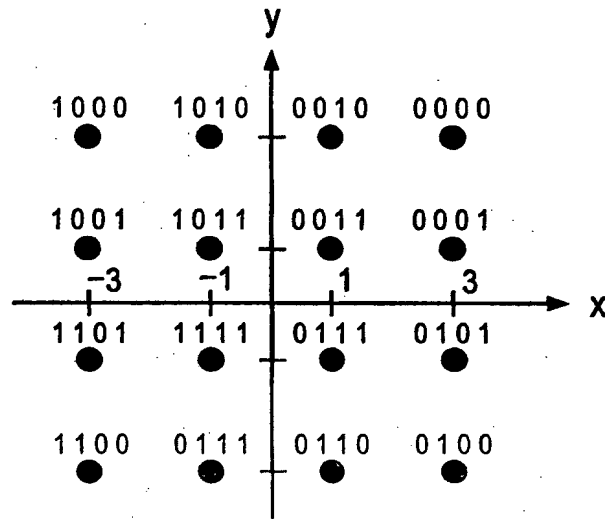


図38(b)

データ組	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$	比較器	
					241	242
0 0 0 0	3	3	0	0	3	3
0 0 0 1	3	1	0	0	3	1
0 0 1 0	1	3	0	0	1	3
0 0 1 1	1	1	0	0	1	1
0 1 0 0	3	0	0	3	3	-3
0 1 0 1	3	0	0	1	3	-1
0 1 1 0	1	0	0	3	1	-3
0 1 1 1	1	0	0	1	1	-1
1 0 0 0	0	3	3	0	3	3
1 0 0 1	0	1	3	0	3	3
1 0 1 0	0	3	1	0	1	1
1 0 1 1	0	1	1	0	1	1
1 1 0 0	0	0	3	3	-3	-3
1 1 0 1	0	0	3	1	-3	-1
1 1 1 0	0	0	1	3	-1	-3
1 1 1 1	0	0	1	1	-1	-1

[図39]

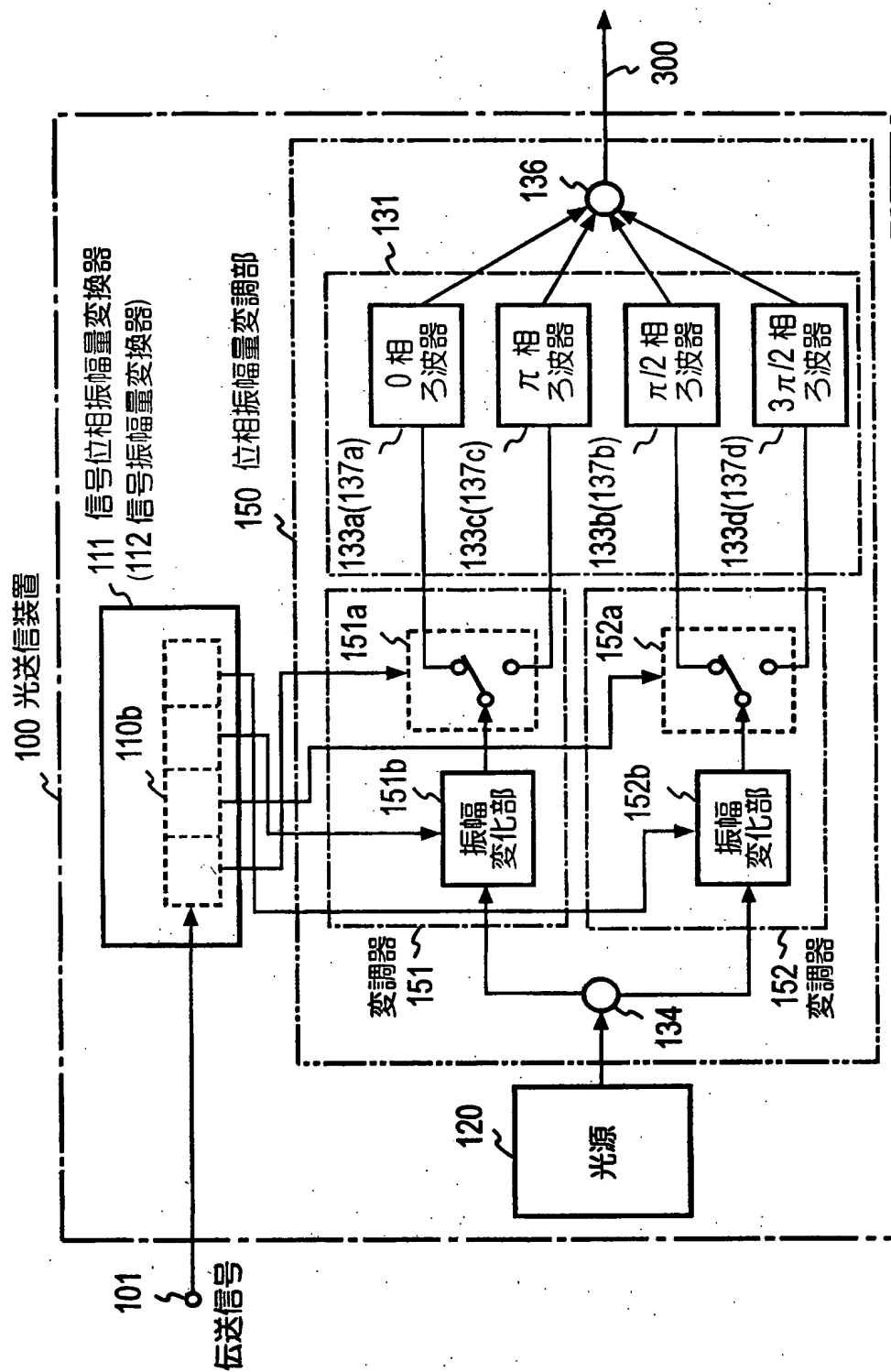
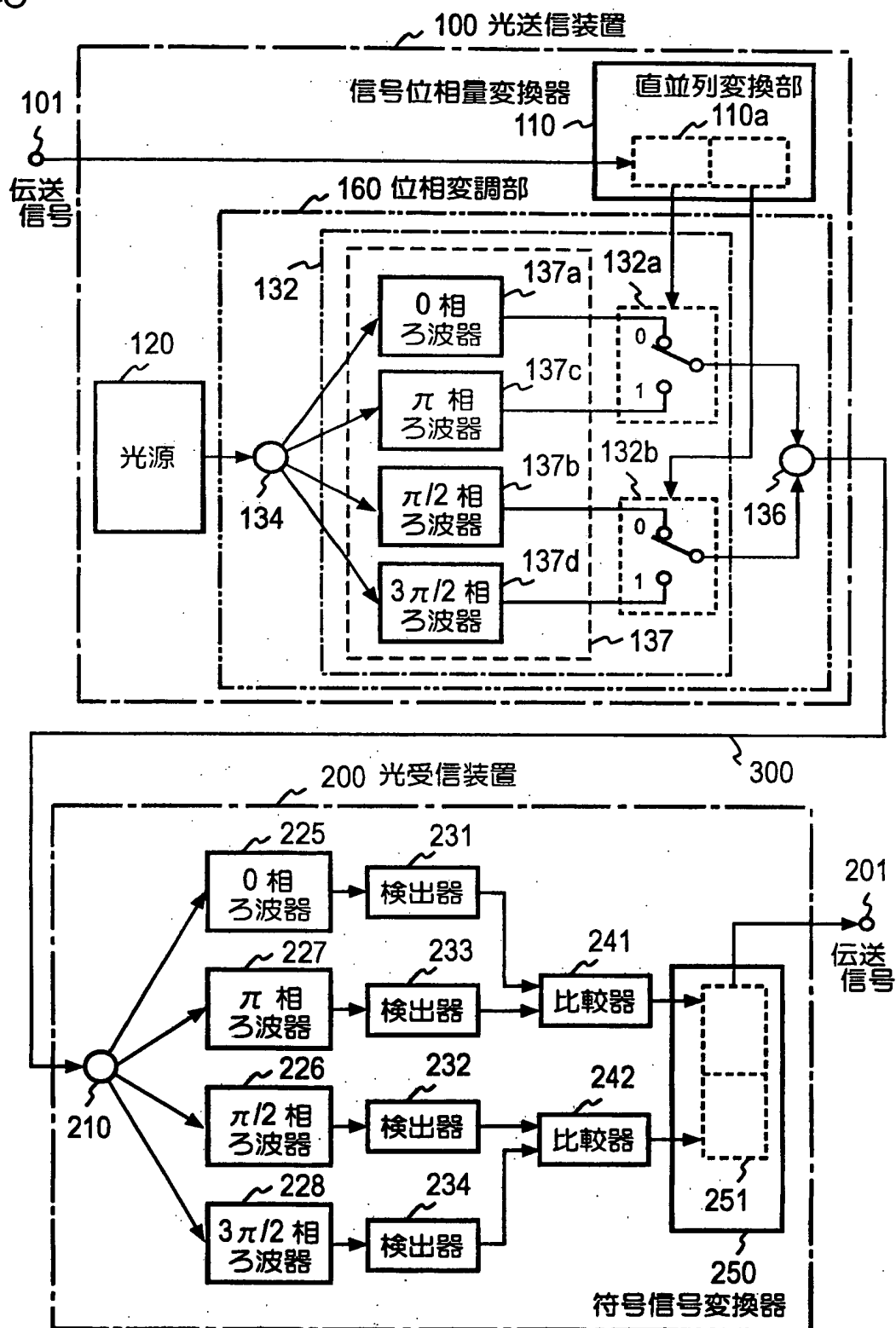


図39

[図40]

図40



[図41]

図41(a)

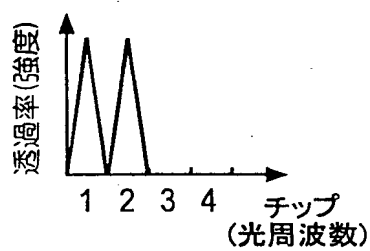
位相 0 ($L=4, S=1$)

図41(b)

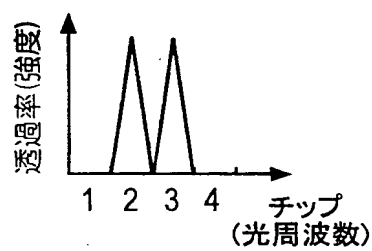
位相 $\pi/2$ ($L=4, S=1$)

図41(c)

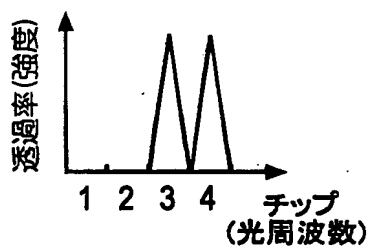
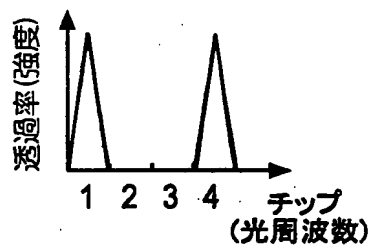
位相 π ($L=4, S=1$)

図41(d)

位相 $3\pi/2$ ($L=4, S=1$)

[図42-1]

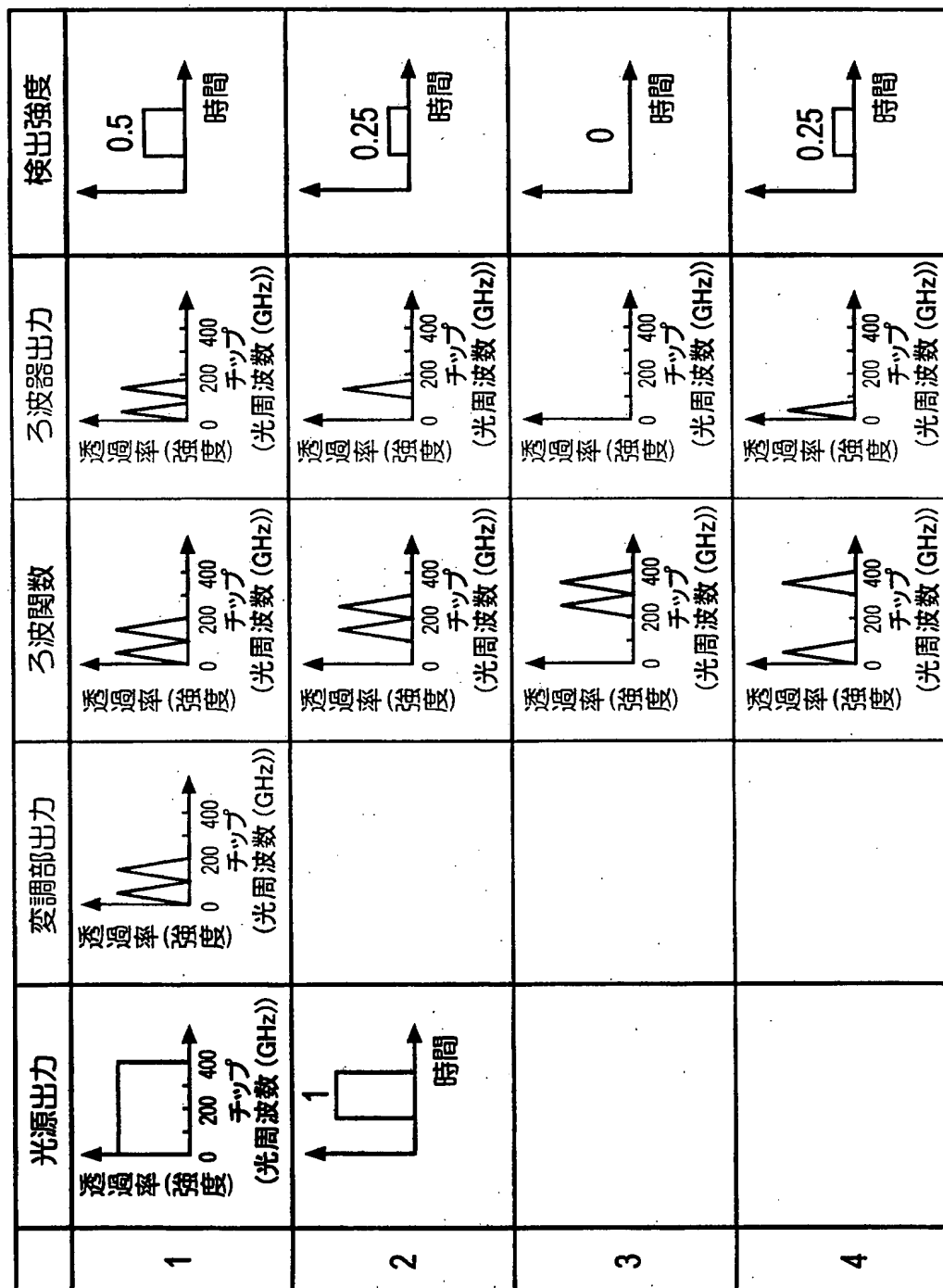


図42-1

[図42-2]

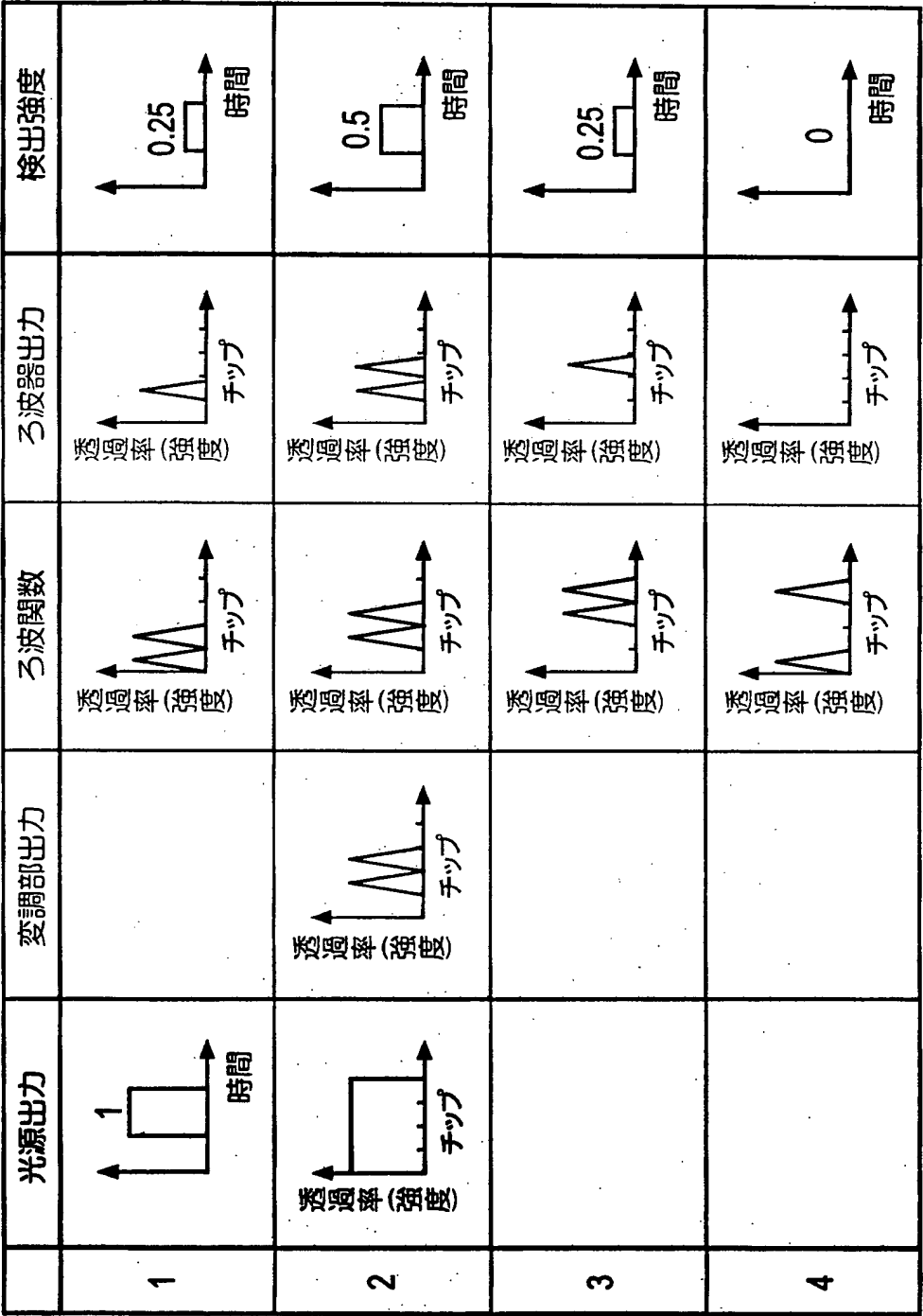


図42-2

[図42-3]

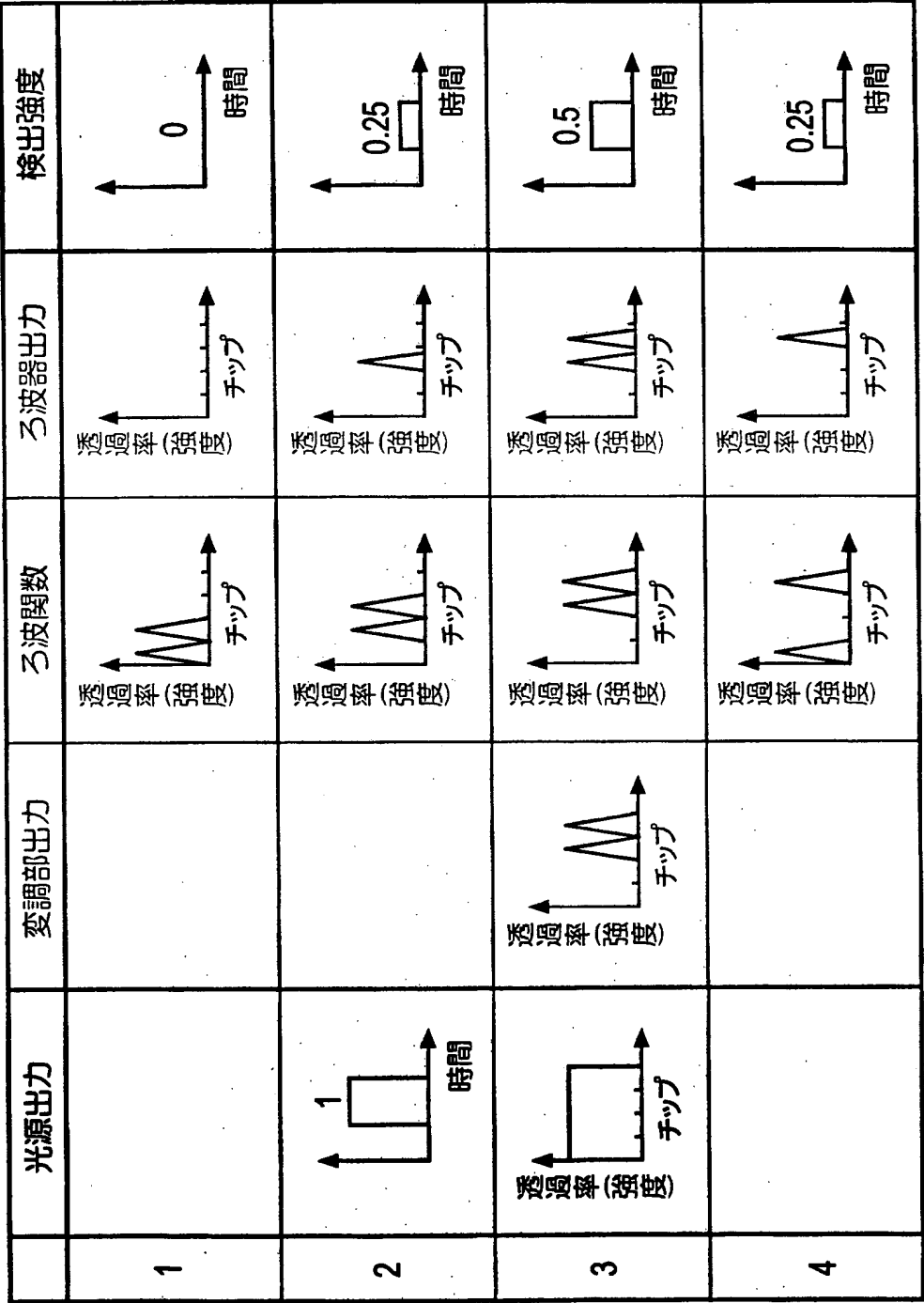


図42-3

[図42-4]

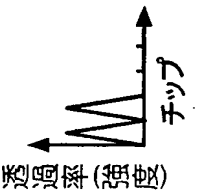
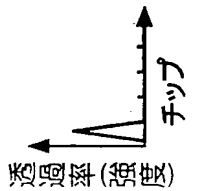
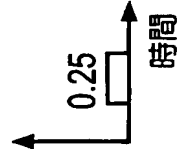
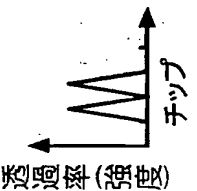
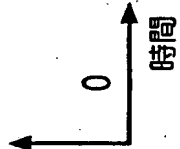
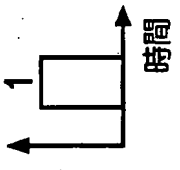
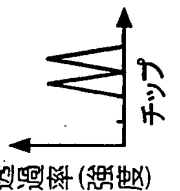
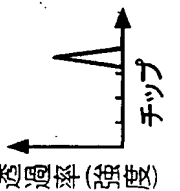
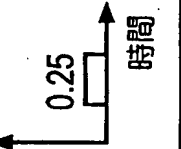
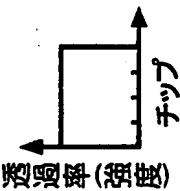
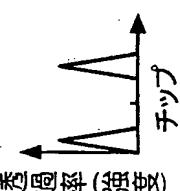
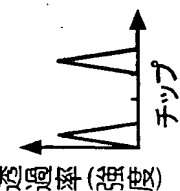
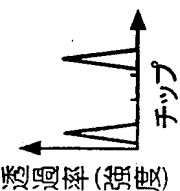
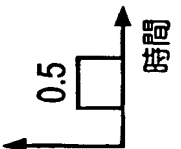
	光源出力	変調部出力	ろ波関数	ろ波器出力	検出強度
1					
2					
3					
4					

図42-4

[図43]

図43(a)

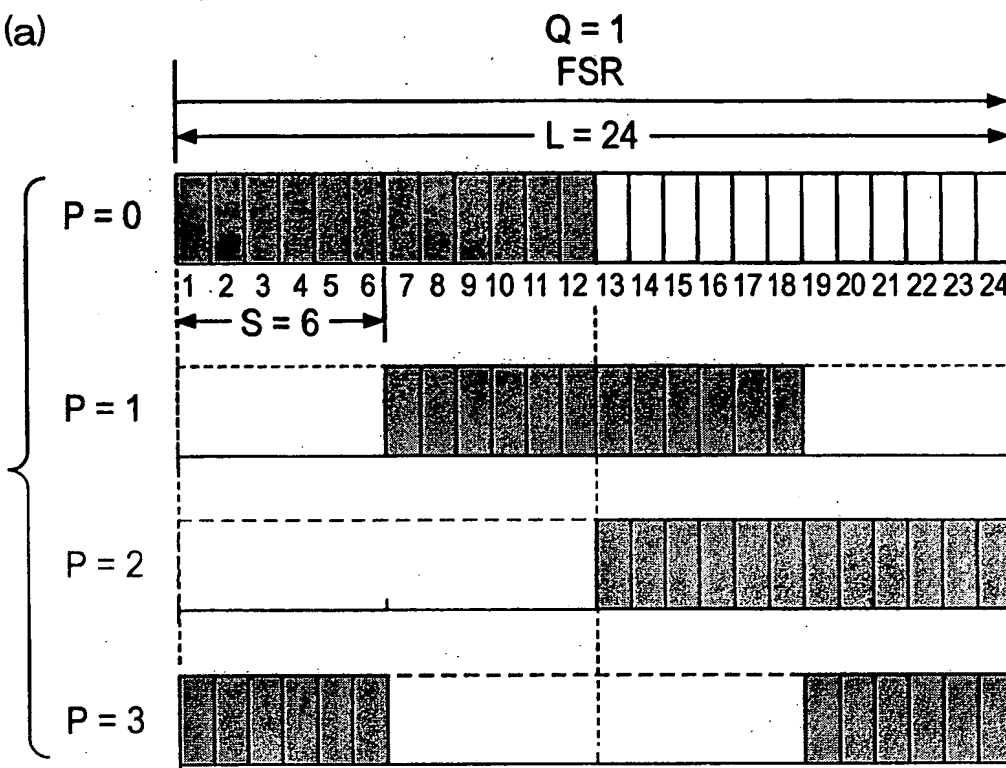
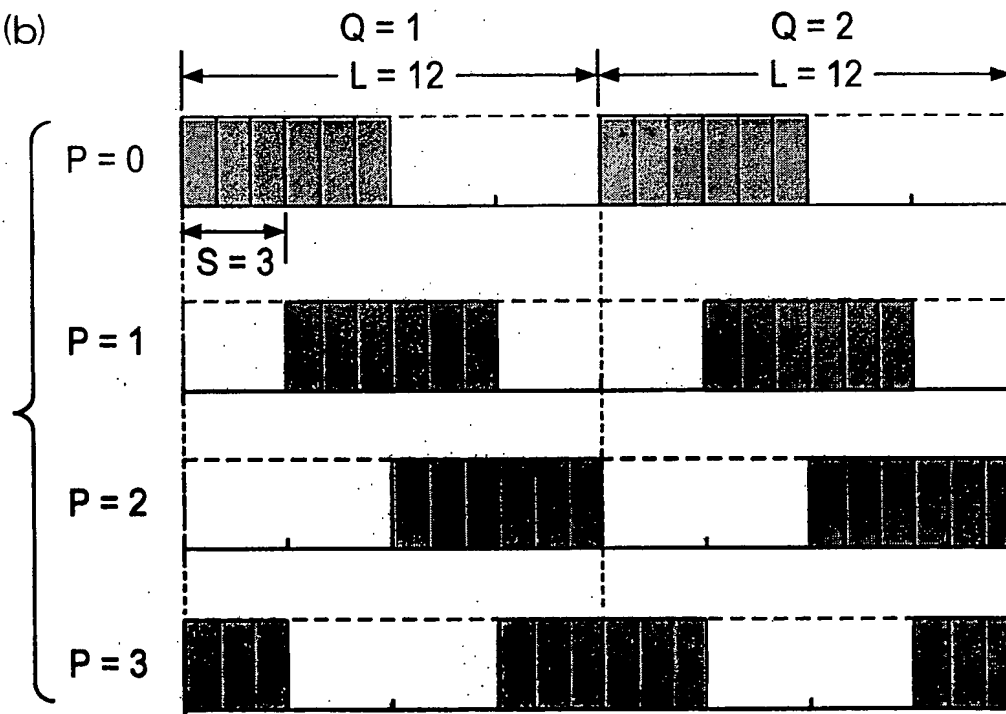
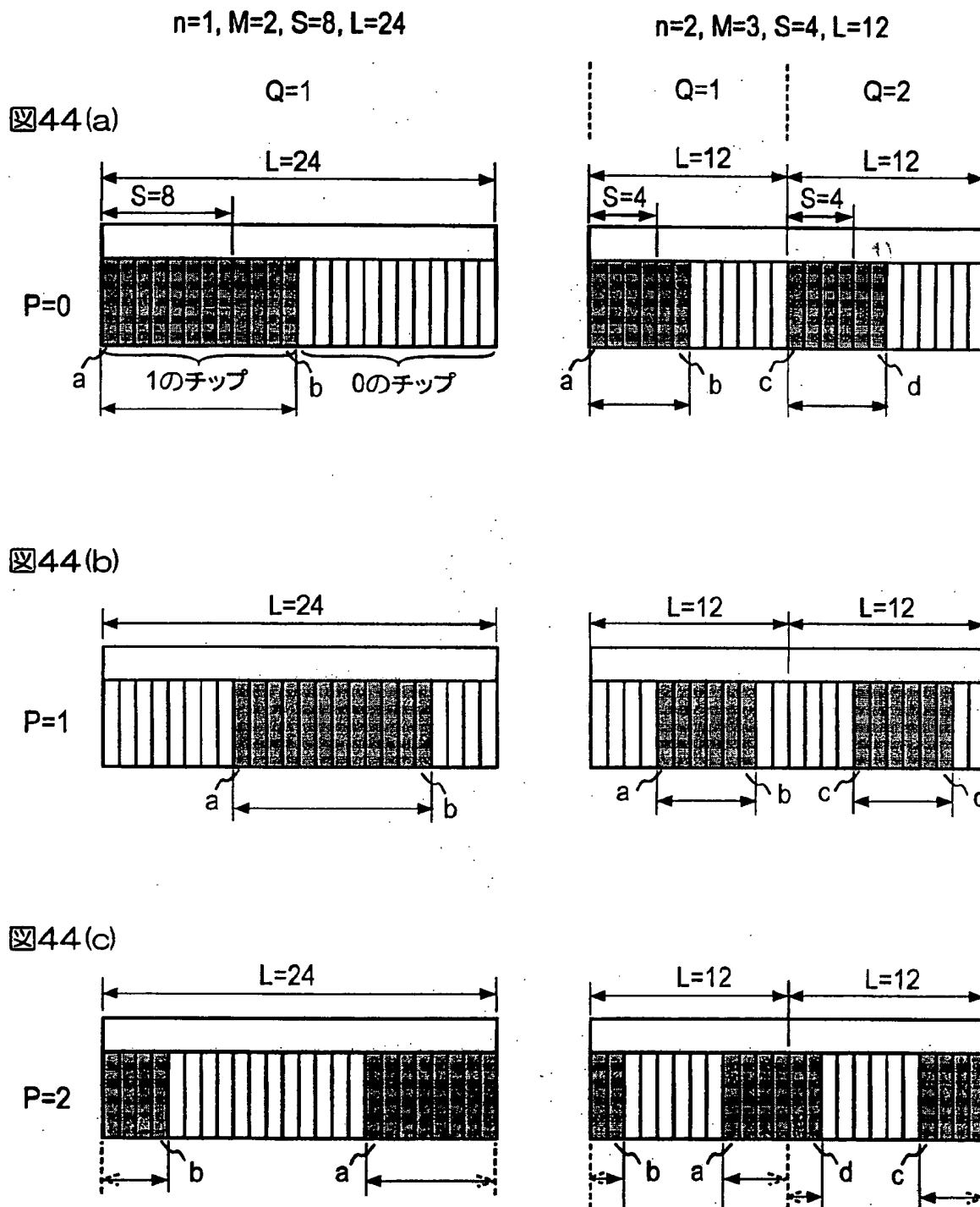


図43(b)



[図44]



[図45]

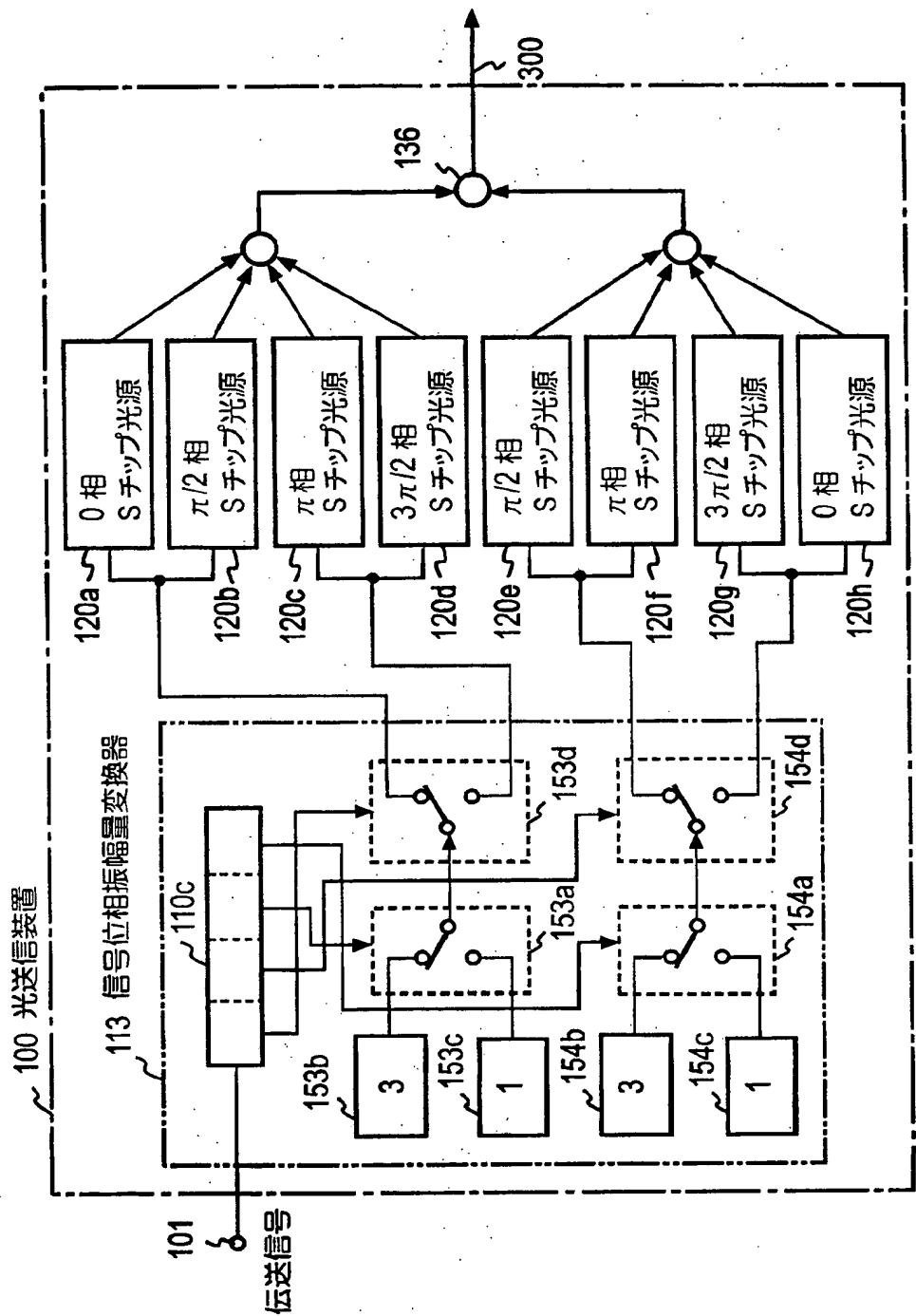
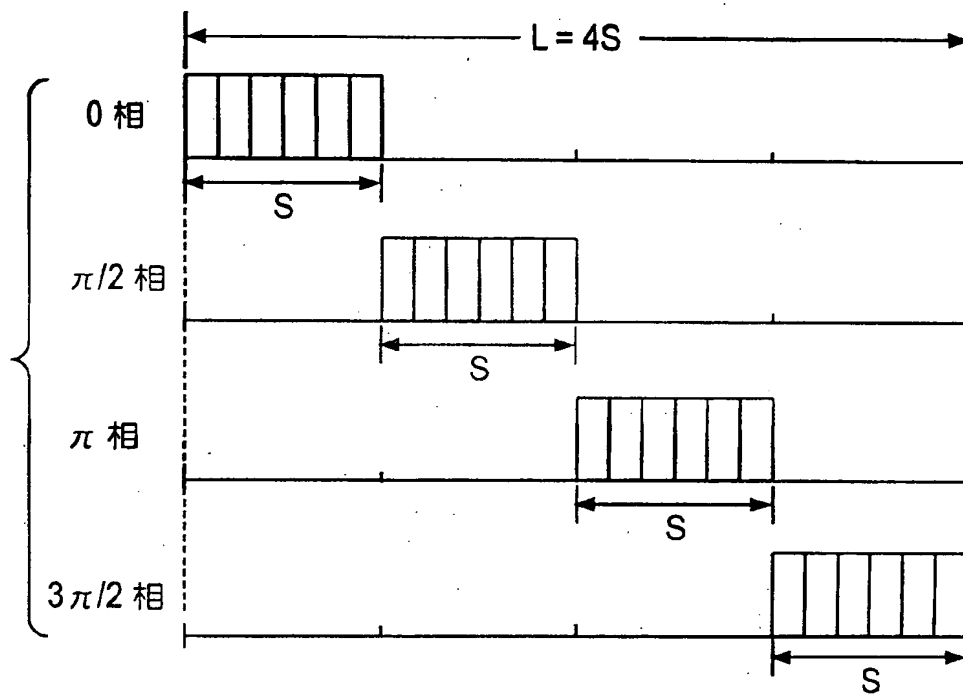


図45

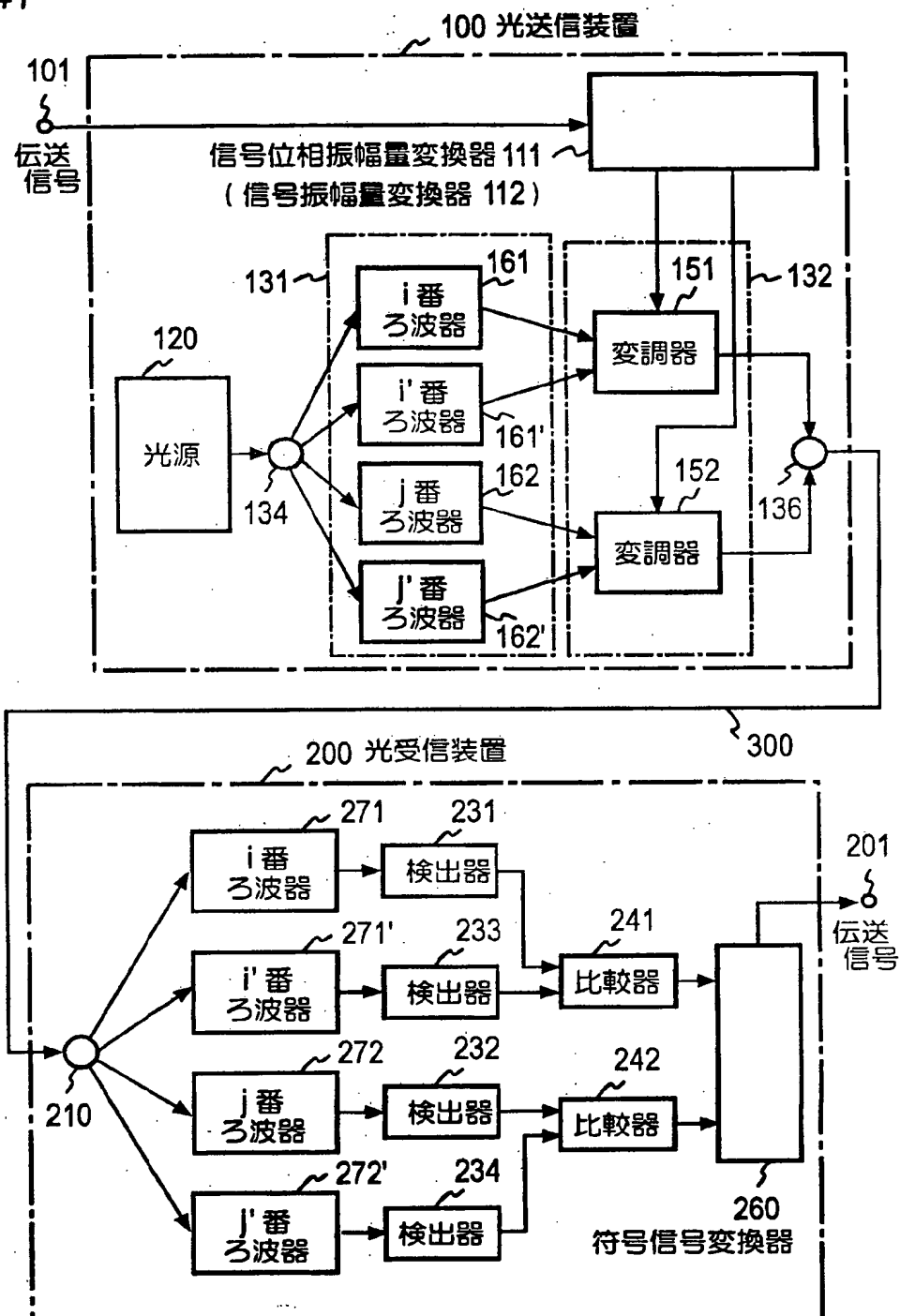
[図46]

図46



[図47]

図47



[図48-1]

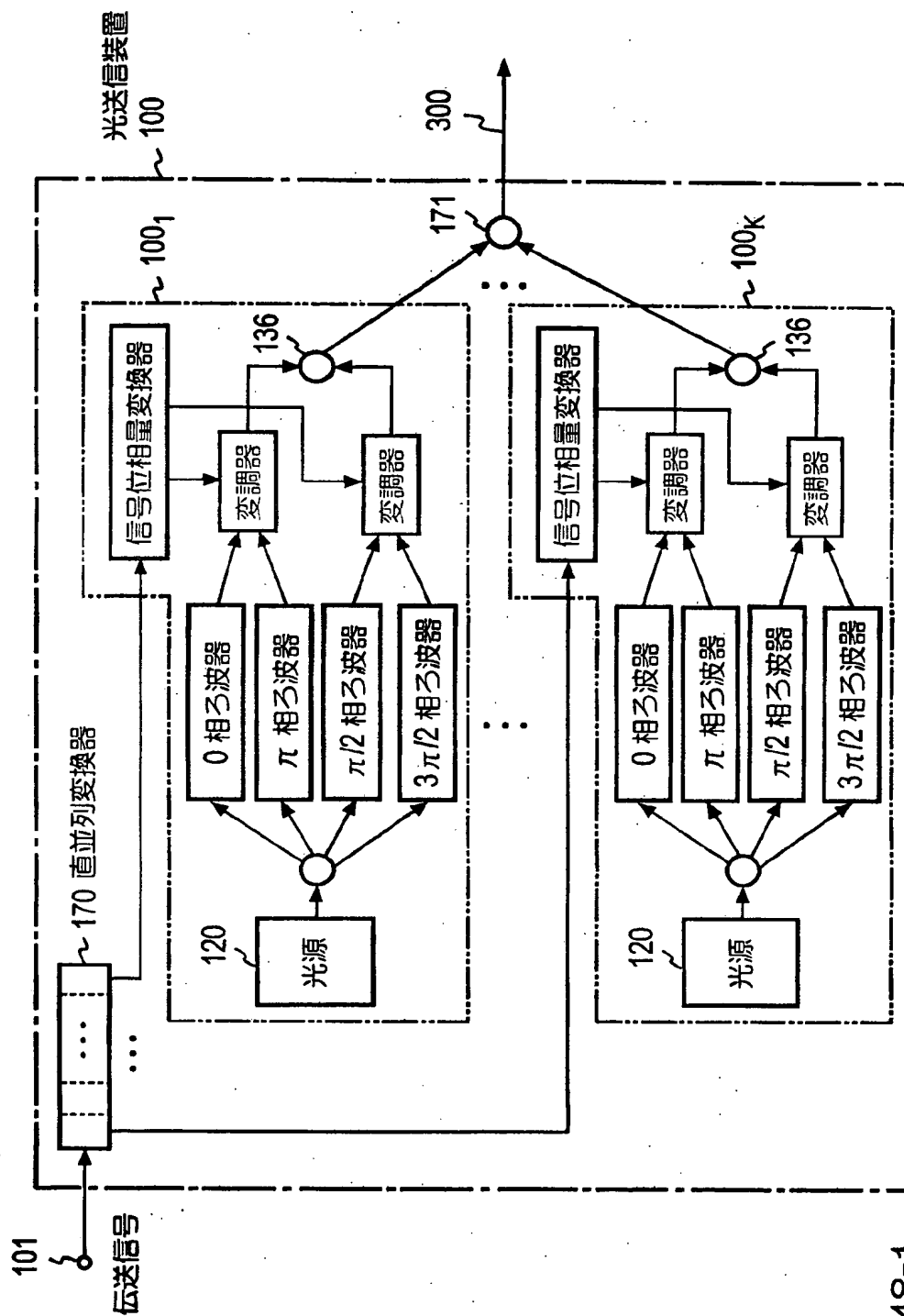


図48-1

[図48-2]

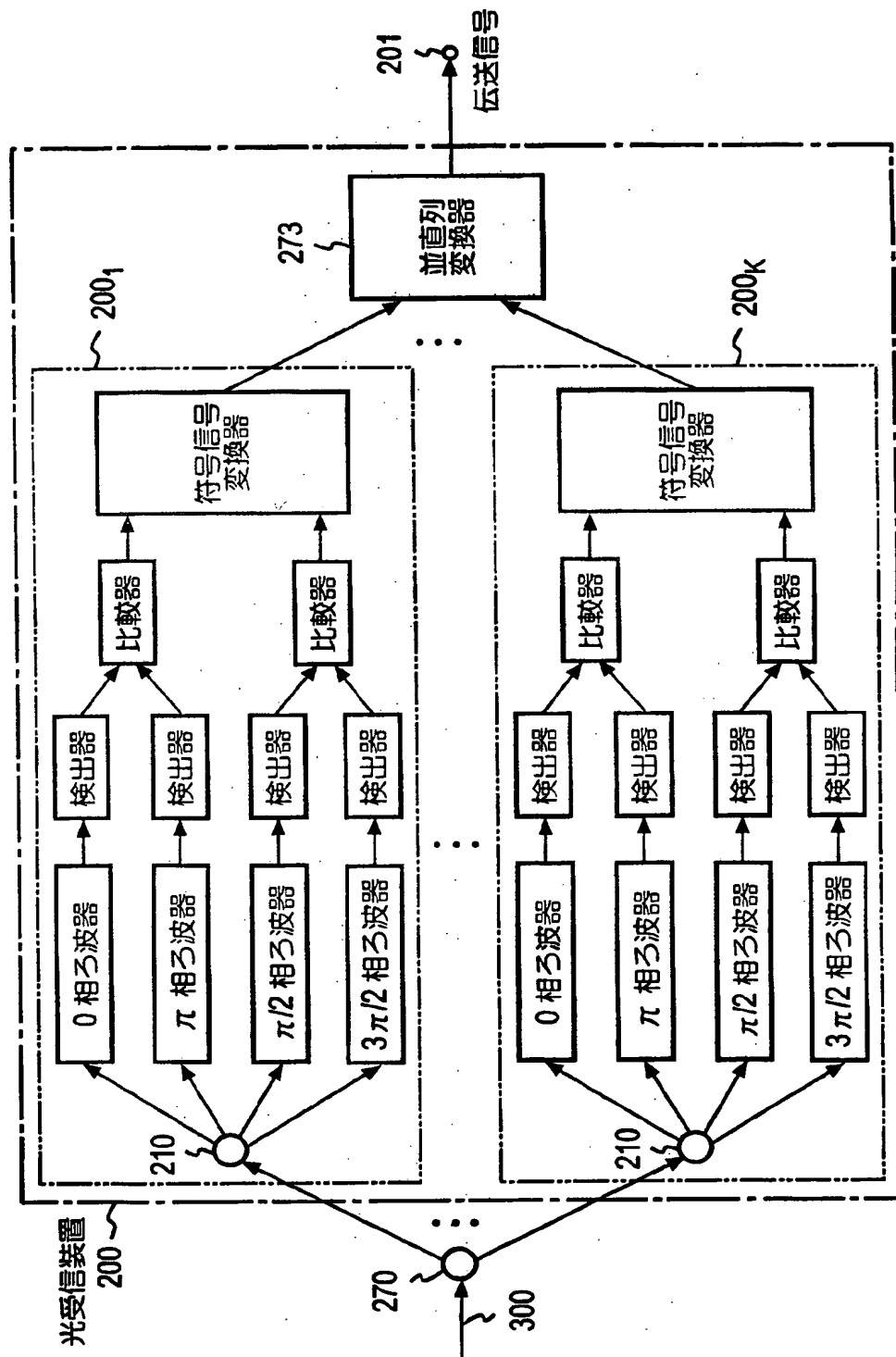
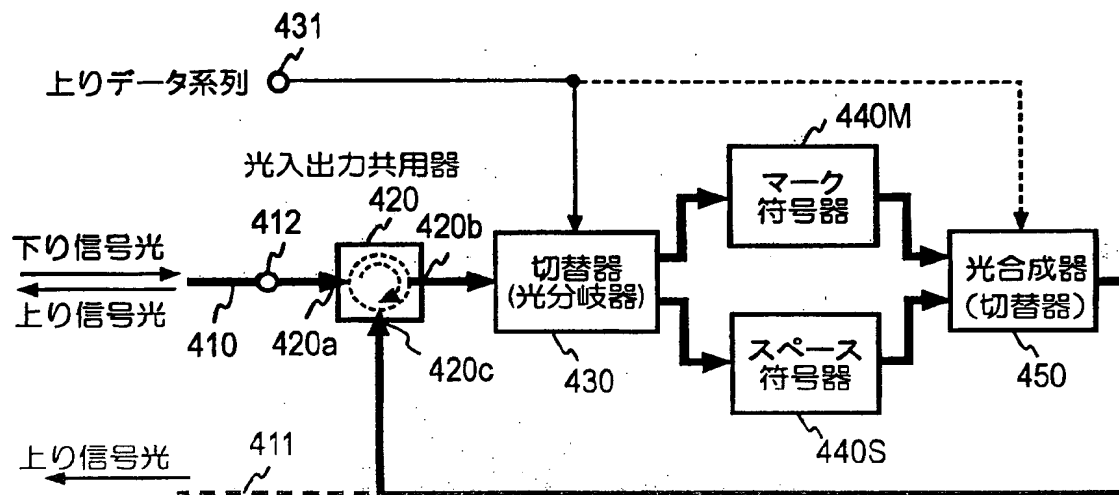


図48-2

[図49]

図49



[図50]

図50(a)

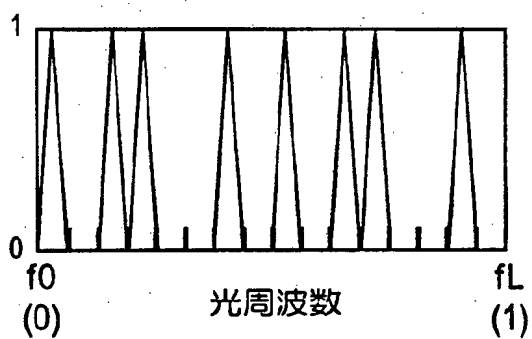
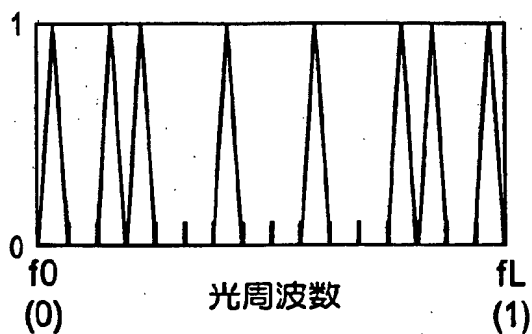
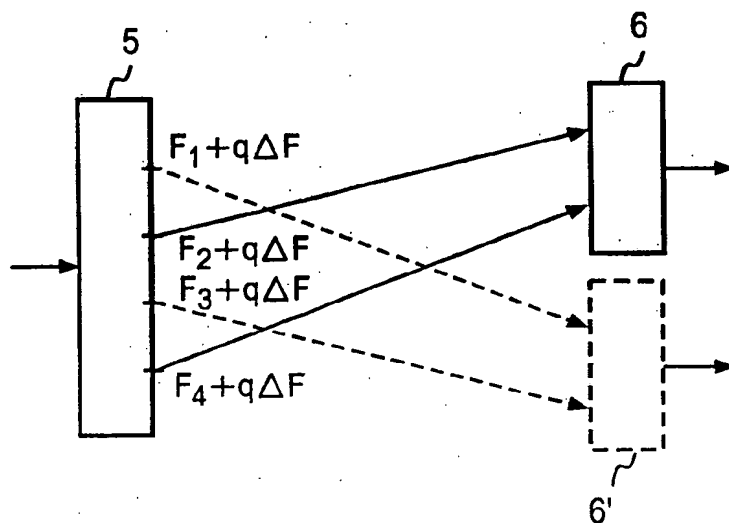


図50(b)



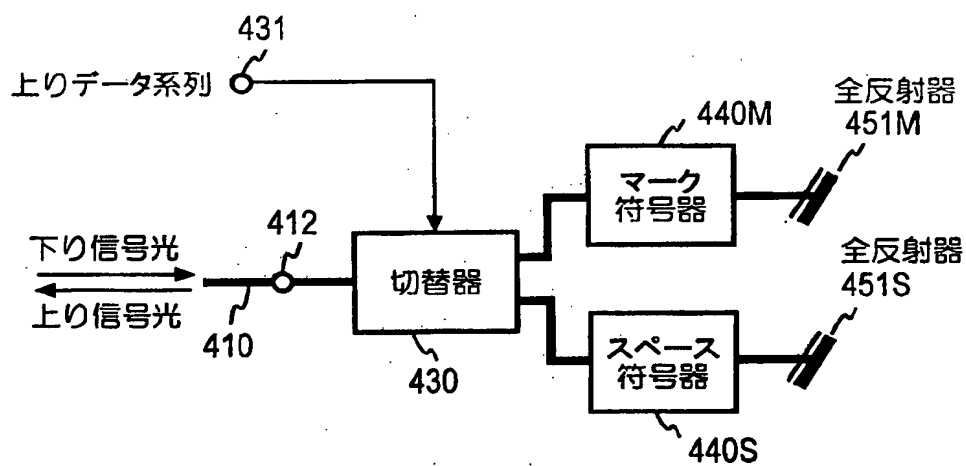
[図51]

図51



[図52]

図52



[図53]

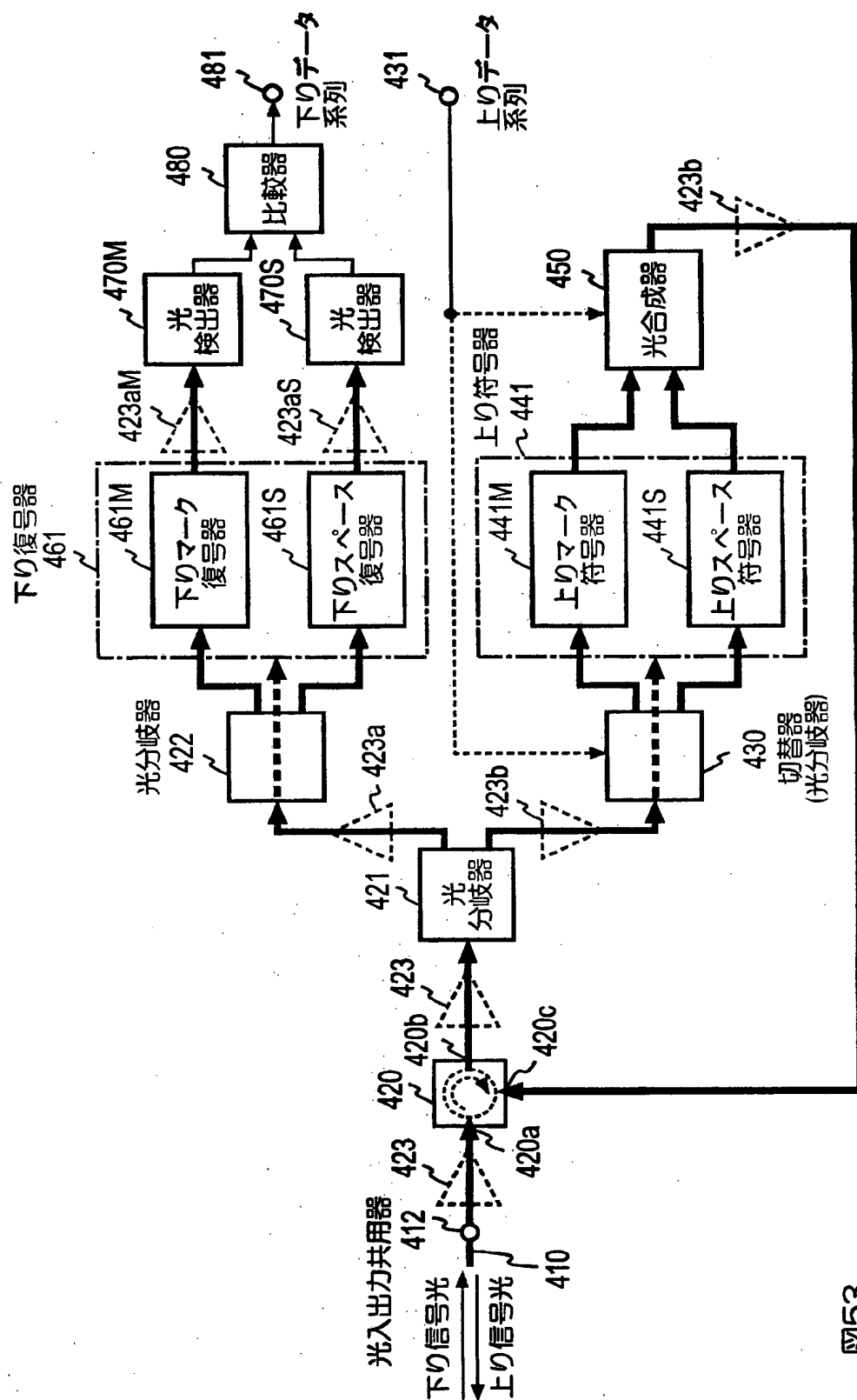
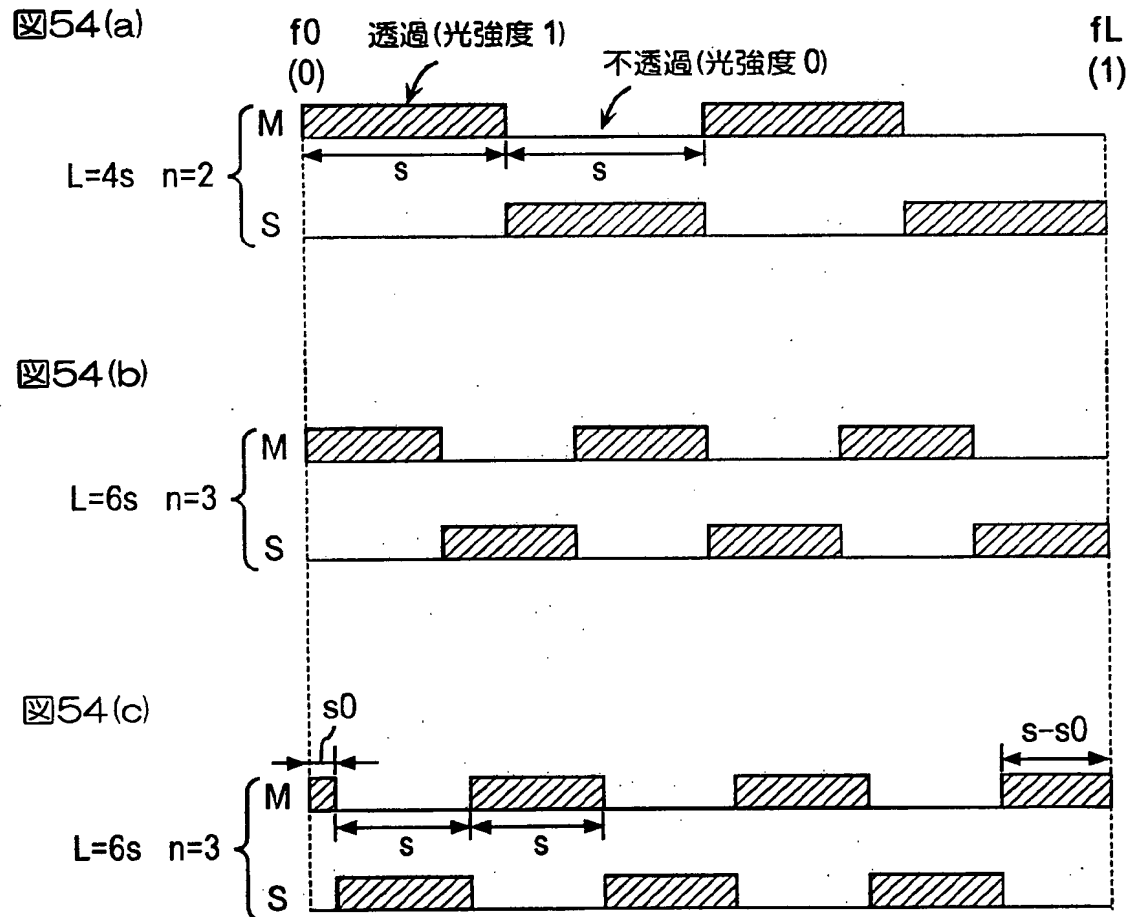


図53

[図54]



[図55]

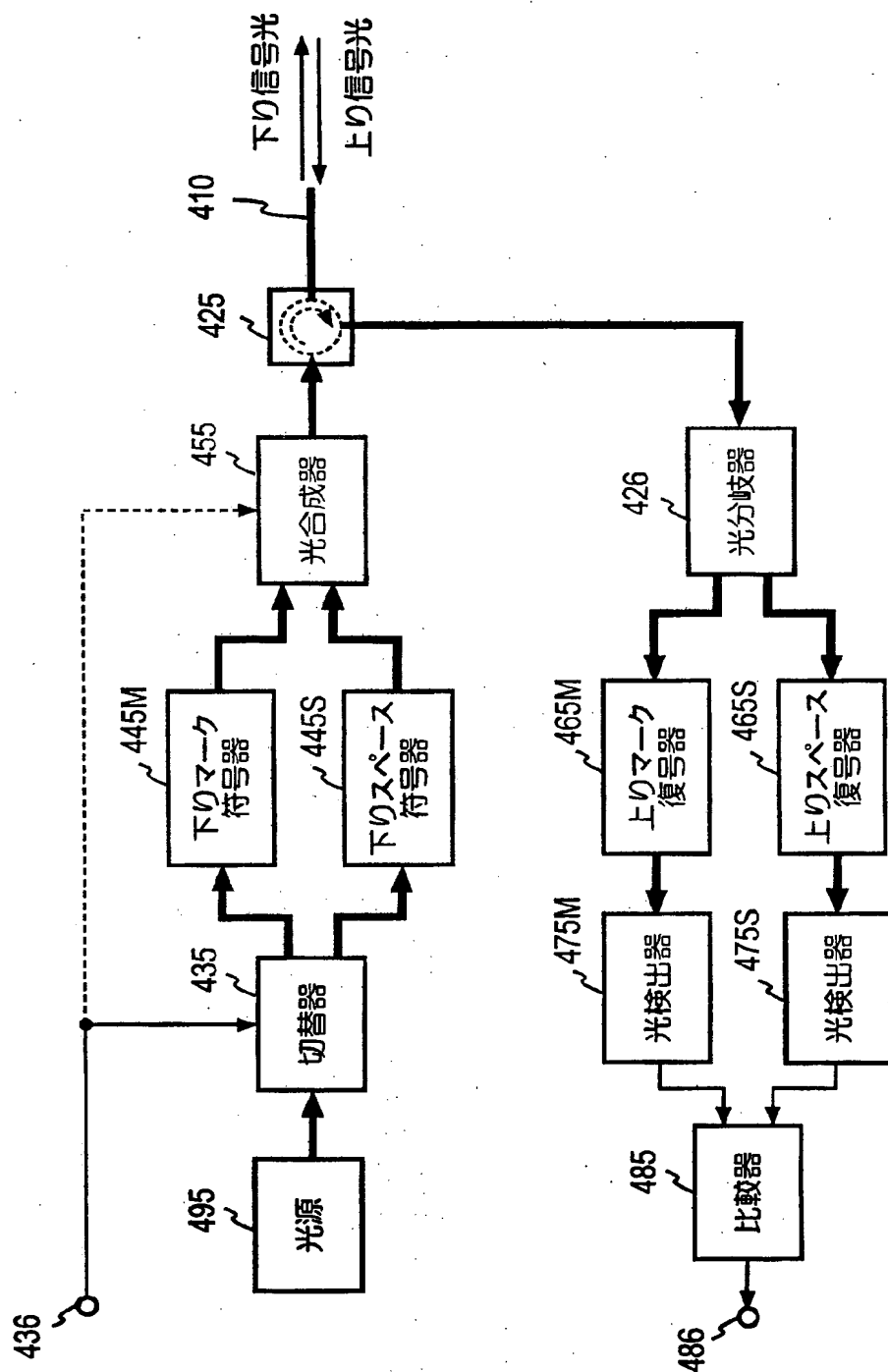


図55

[図56]

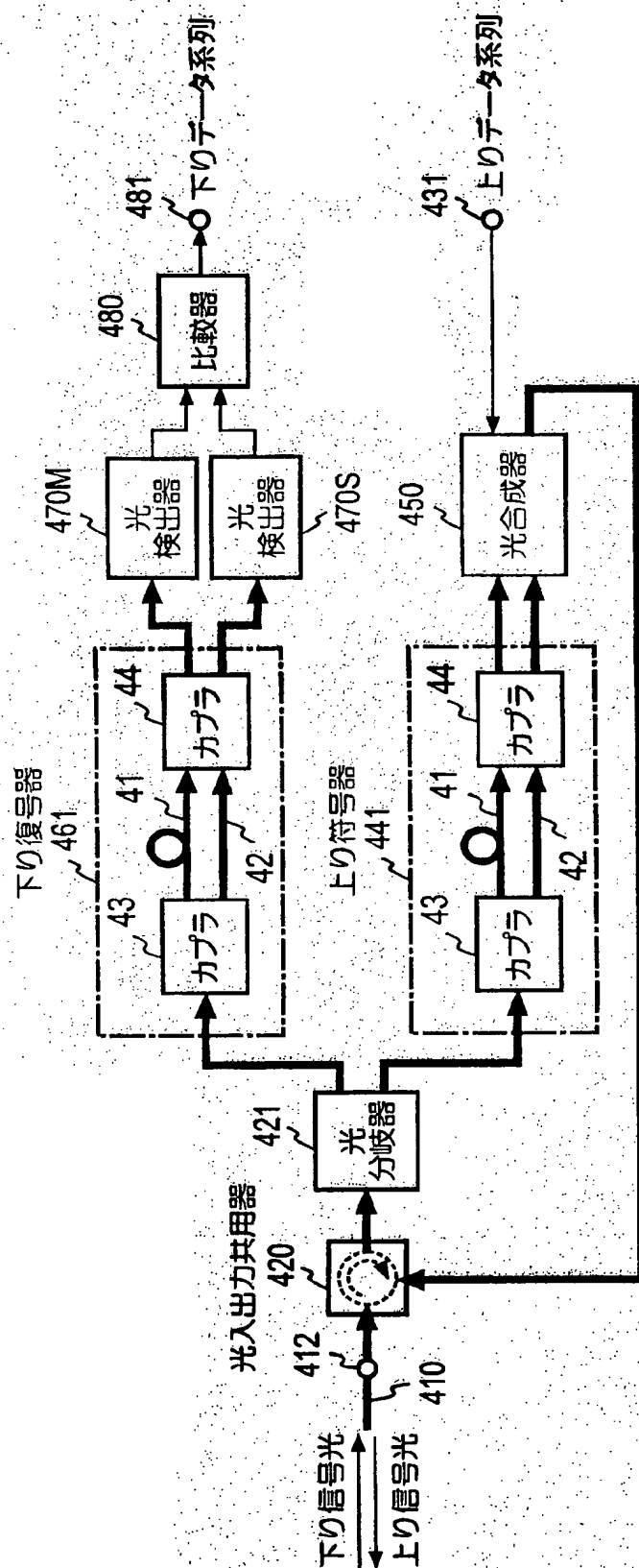
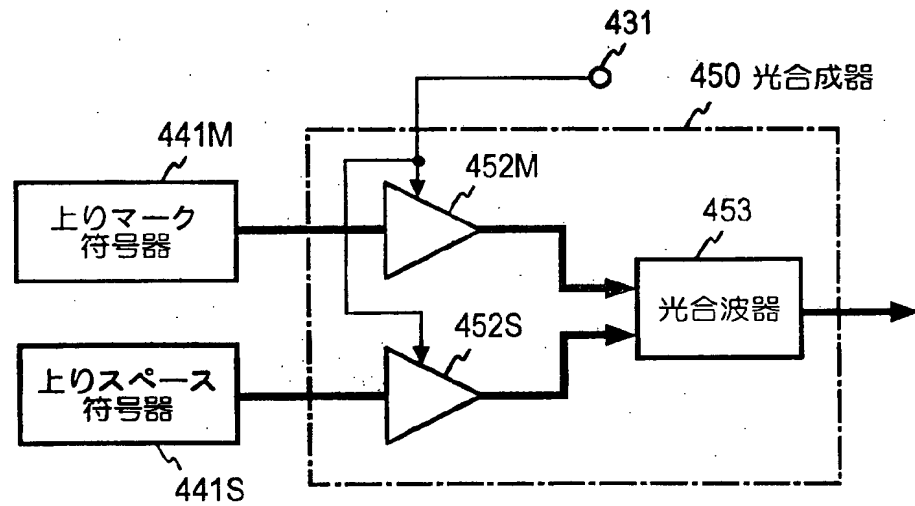


図56

[図57]

図57



[図58]

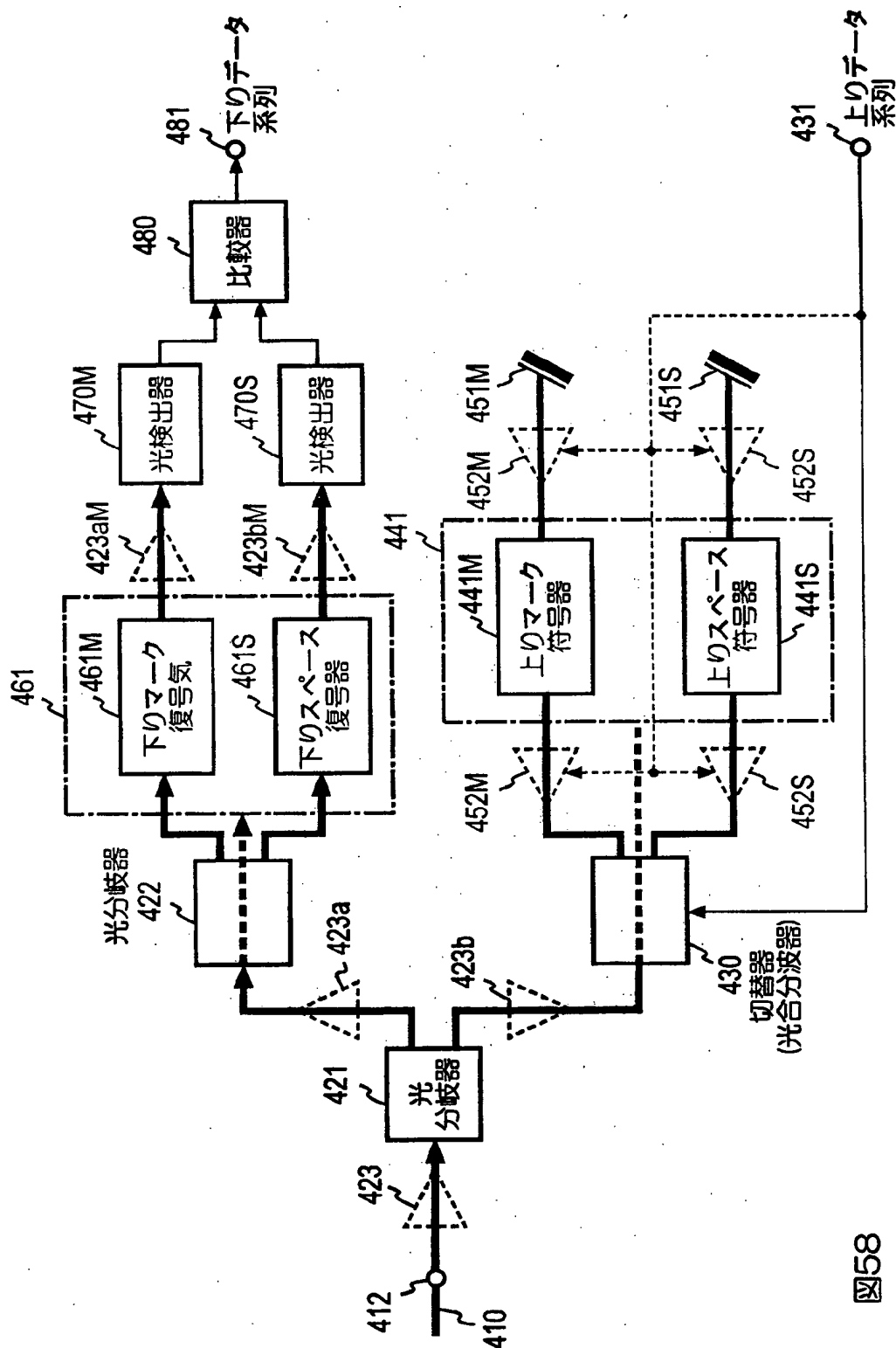


図58

[図59]

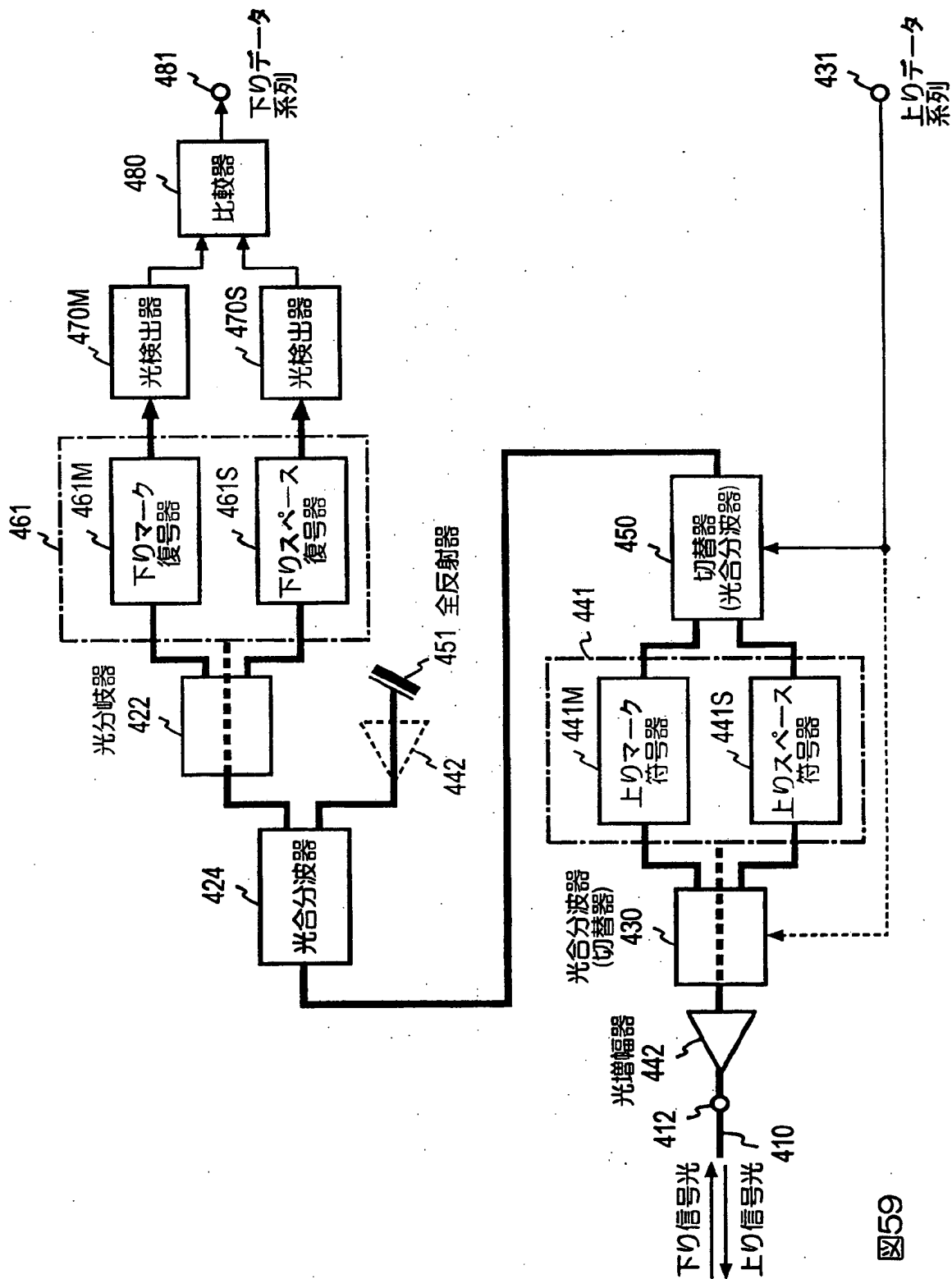


図59

[図60]

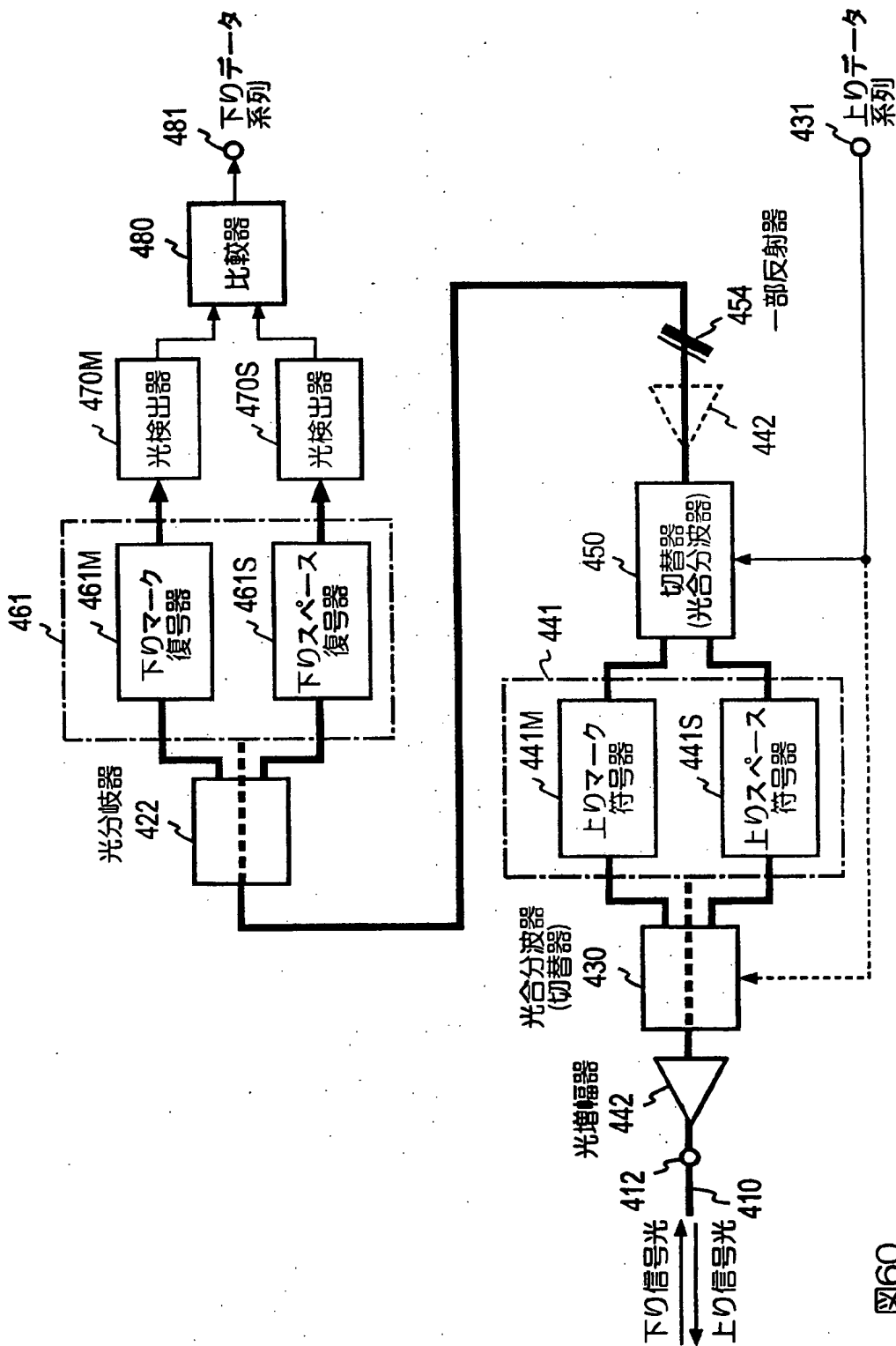


図60

[図61]

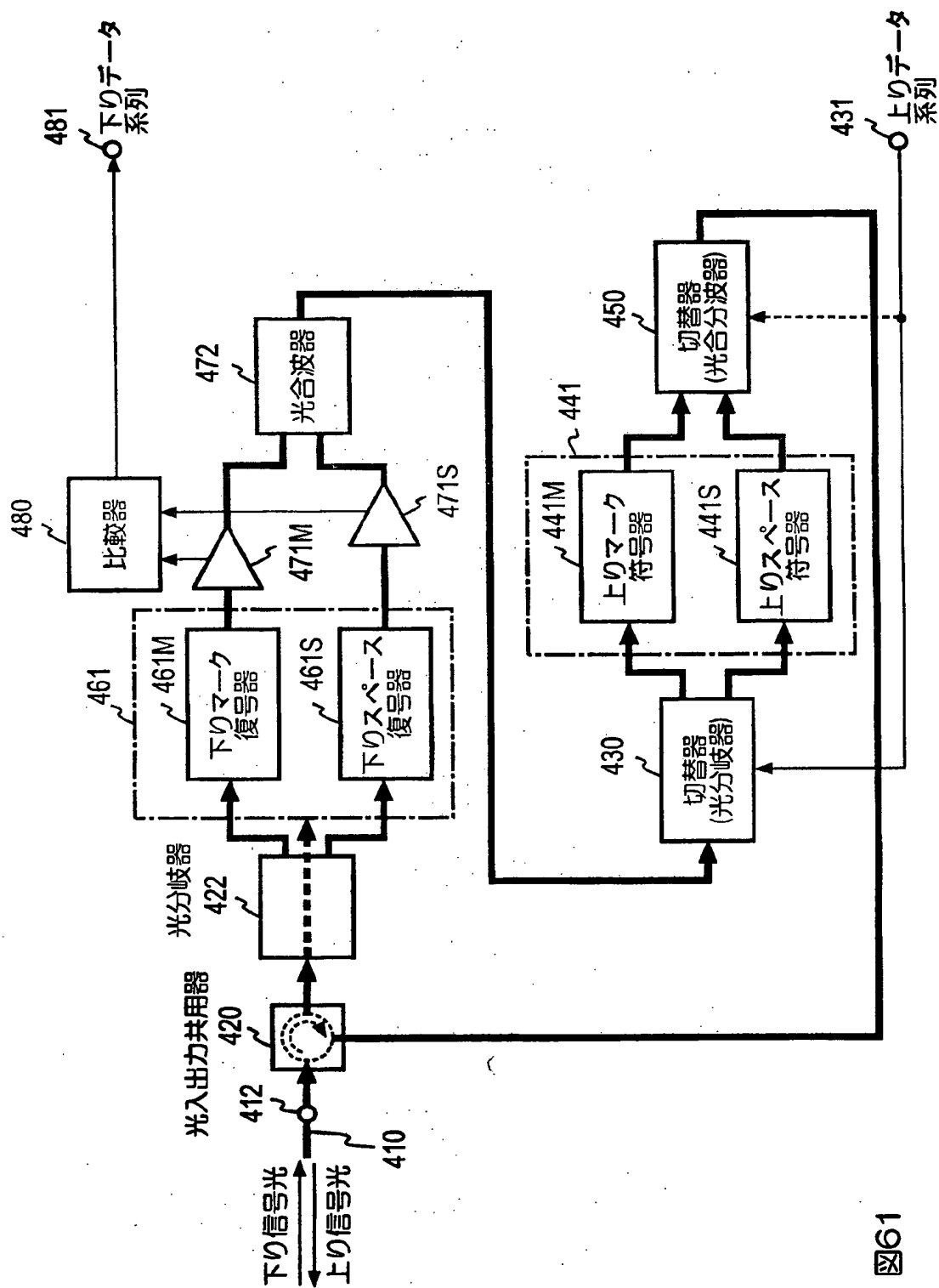


図61

[図62]

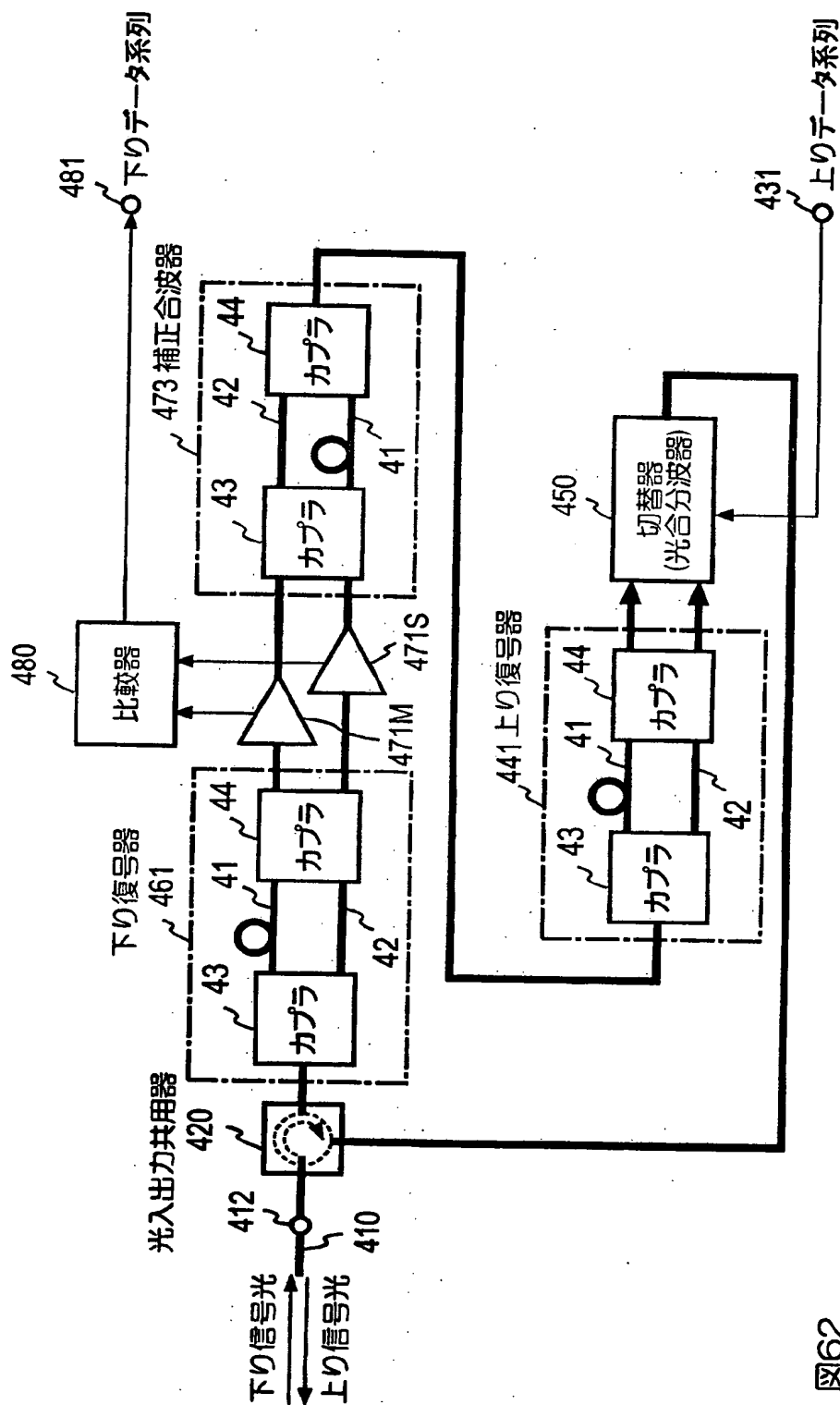


図62

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

DECLARATION OF NON-ESTABLISHMENT OF INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 17(2)(a), Rules 13^{ter}.1(c) and 39)

Applicant's or agent's file reference KUSANO16F024	IMPORTANT DECLARATION	Date of mailing (day/month/year) 26 October, 2004 (26.10.04)
International application No. PCT/JP2004/010228	International filing date (day/month/year) 16 July, 2004 (16.07.04)	(Earliest) Priority Date (day/month/year) 16 July, 2003 (16.07.03)
International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC Int.Cl ⁷ H04B10/04, H04B10/18, H04J13/04		
Applicant Nippon Telegraph And Telephone Corp.		

This International Searching Authority hereby declares, according to Article 17(2)(a), that **no international search report will be established** on the international application for the reasons indicated below.

1. ☐ The subject matter of the international application relates to:
 - a. ☐ scientific theories.
 - b. ☐ mathematical theories.
 - c. ☐ plant varieties.
 - d. ☐ animal varieties.
 - e. ☐ essentially biological processes for the production of plants and animals, other than microbiological processes and the products of such processes.
 - f. ☐ schemes, rules or methods of doing business.
 - g. ☐ schemes, rules or methods of performing purely mental acts.
 - h. ☐ schemes, rules or methods of playing games.
 - i. ☐ methods for treatment of the human body by surgery or therapy.
 - j. ☐ methods for treatment of the animal body by surgery or therapy.
 - k. ☐ diagnostic methods practised on the human or animal body.
 - l. ☐ mere presentations of information.
 - m. ☐ computer programs for which this International Searching Authority is not equipped to search prior art.
2. ☒ The failure of the following parts of the international application to comply with prescribed requirements prevents a meaningful search from being carried out:

☐ the description ☒ the claims ☐ the drawings
3. ☐ The failure of the nucleotide and/or amino acid sequence listing to comply with the standard provided for in Annex C of the Administrative Instructions prevents a meaningful search from being carried out:

☐ the written form has not been furnished or does not comply with the standard.
☐ the computer readable form has not been furnished or does not comply with the standard.
4. ☐ The failure of the tables related to the nucleotide and/or amino acid sequence listing to comply with the technical requirements provided for in Annex C-bis of the Administrative Instructions prevents a meaningful search from being carried out:

☐ the written form has not been furnished.
☐ the computer readable form has not been furnished or does not comply with the technical requirements.
5. Further comments:

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

特 許 協 力 条 約

P C T

国際調査報告を作成しない旨の決定

(法第8条第2項、法施行規則第42条、第50条の3第7項)
〔PCT17条(2)(a)、PCT規則13の3.1(c)、39〕

出願人又は代理人 の書類記号 KUSAN016F024	重要決定	発送日 (日.月.年) 26.10.2004
国際出願番号 PCT/JP2004/010228	国際出願日 (日.月.年) 16.07.2004	優先日 (日.月.年) 16.07.2003
国際特許分類 (IPC) Int. Cl ⁷ H04B10/04, H04B10/18, H04J13/04		
出願人 (氏名又は名称) 日本電信電話株式会社		

この出願については、法第8条第2項 (PCT17条(2)(a)) の規定に基づき、次の理由により国際調査報告を作成しない旨の決定をする。

1. ☐ この国際出願は、次の事項を内容としている。
 - a. ☐ 科学の理論
 - b. ☐ 数学の理論
 - c. ☐ 植物の品種
 - d. ☐ 動物の品種
 - e. ☐ 植物及び動物の生産の本質的に生物学的な方法 (微生物学的方法による生産物及び微生物学的方法を除く。)
 - f. ☐ 事業活動に関する計画、法則又は方法
 - g. ☐ 純粋に精神的な行為の遂行に関する計画、法則又は方法
 - h. ☐ 遊戯に関する計画、法則又は方法
 - i. ☐ 人の身体の手術又は治療による処置方法
 - j. ☐ 動物の身体の手術又は治療による処置方法
 - k. ☐ 人又は動物の身体の診断方法
 - l. ☐ 情報の単なる提示
 - m. ☐ この国際調査機関が先行技術を調査できないコンピューター・プログラム
2. ☒ この国際出願の次の部分が所定の要件を満たしていないので、有効な国際調査をすることができない。

☐ 明細書
☒ 請求の範囲
☐ 図面
3. ☐ヌクレオチド又はアミノ酸の配列表が実施細則の附属書C (塩基配列又はアミノ酸配列を含む明細書等の作成のためのガイドライン) に定める基準を満たしていないので、有効な国際調査をすることができない。

☐ 書面による配列表が提出されていない又は所定の基準を満たしていない。
☐ 磁気ディスクによる配列表が提出されていない又は所定の基準を満たしていない。
4. ☐ヌクレオチド又はアミノ酸の配列表に関連するテーブルが実施細則の附属書Cの2に定める技術的な要件を満たしていないので、有効な国際調査をすることができない。

☐ 書面によるテーブルが提出されていない。
☐ コンピュータ読み取り可能な形式によるテーブルが提出されていない又は所定の要件を満たしていない。
5. 附記

名称及びあて名 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 前田 典之 電話番号 03-3581-1101 内線 3535	5 J 9 0 7 3
---	--	-------------

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.